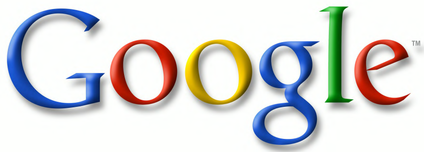
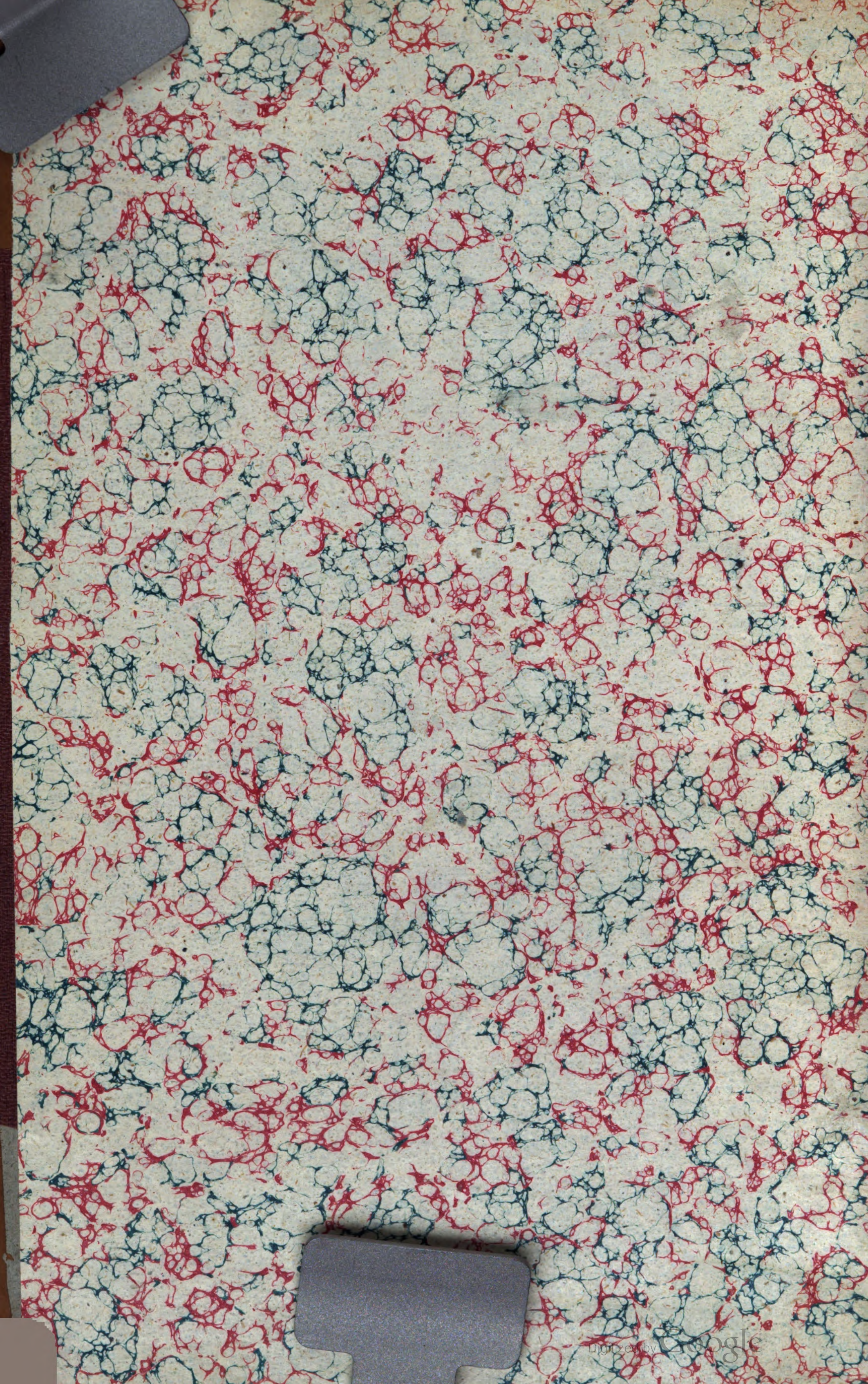
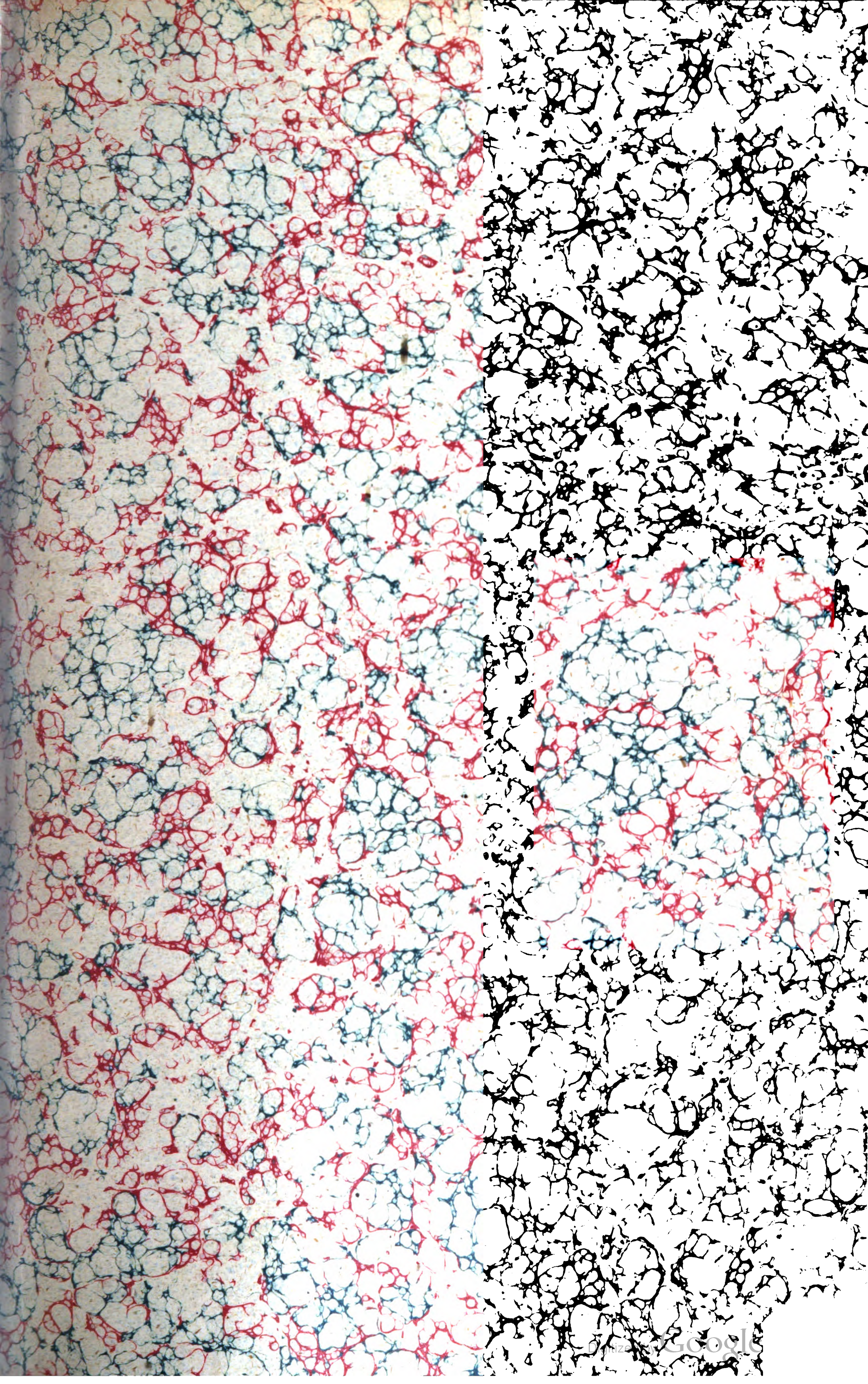




Astronomie et météorologie à l'usage des jeunes personnes

Sophie Ulliac Trémadeure





Bibliothèque de la jeune Fille.



ASTRONOMIE

ET

MÉTÉOROLOGIE

des jeunes Personnes.

Autres Ouvrages déjà publiés

de la Bibliothèque de la jeune Fille

par Mlle Ulliac-Trémadeure.

PHÉNOMÈNES ET MÉTAMORPHOSES, ou Causeries sur les papillons, les insectes et les polypes, ouvrage à l'usage des jeunes personnes ; 1 volume grand in-8°, orné de jolies gravures coloriées avec soin.

EUGÉNIE ou **le Monde en Miniature,** suivi de *Récits historiques* et des *Conseils d'une mère* ; 1 volume grand in-8°, orné de jolies lithographies coloriées avec soin.

MARIE ou **la Jeune Institutrice,** suivi de *Simples Histoires ;* 1 volume grand in-8°, orné de jolies lithographies coloriées avec soin.

MATHILDE ET PAULINE ou **Laideur et Beauté,** suivi des *Lettres de Mistress Chapone*, ou *Cours de morale pratique;* 1 volume grand in-8°, orné de jolies lithographies coloriées avec soin.

Paris. — Imprimerie Bonaventure et Ducessois, 55, quai des Grands-Augustins.



G. Montaut del. et sc.

Frault j.ne Imp. r. S. André des arts. 37. Paris.

ASTRONOMIE

ET

MÉTÉOROLOGIE

A L'USAGE DES JEUNES PERSONNES

D'APRÈS

ARAGO, LAPLACE ET W. HERSCHELL

PAR

Mlle ULLIAC-TREMADEURE

Orné de planches gravées sur acier.



PARIS

DIDIER, LIBRAIRE-ÉDITEUR

35, quai des Augustins.

1855

ASTRONOMIE

ET

MÉTÉOROLOGIE.

ENVOI.

Tu me demandes, ma chère Laure, mes cahiers sur l'astronomie, et, à ce sujet, tu m'écris que tu as conservé le plus agréable souvenir du temps où je fus ton professeur d'histoire naturelle (1); que tu comptes sur moi pour aplanir aujourd'hui, comme je le fis alors, les

(1) Voir *Quelques Leçons d'Histoire Naturelle.*

difficultés de la science. Moi non plus, ma sœur, je n'ai pas perdu le souvenir de cette époque; car, en ce temps-là, j'avais le bonheur de vivre auprès de ma mère et auprès de toi; je me souviens de même de ces prétendues leçons pour lesquelles je cherchais à exciter ton zèle en attirant ton attention sur les phénomènes curieux que présentent les instincts divers des animaux, la végétation des plantes, et enfin la composition et la décomposition des minéraux. Malheureusement nous ne pouvons plus nous livrer à ces mêmes causeries; nos leçons n'étaient que cela; et je me trouve fort embarrassé parce que je n'ai pas oublié, non plus ton *antipathie* pour la science, ton *horreur* pour les savants. Je me souviens encore de t'avoir entendu traiter de *contes*, avec la dernière irrévérence, les découvertes faites dans l'espace céleste... Cependant, ta demande, ton insistance, m'ont engagé à relire ces cahiers, et je t'assure que si tu habitais Paris, je ne te les enverrais pas, même après les avoir revus avec soin, car je te dirais : Va entendre M. Arago! va recueillir de cette bouche éloquente la connaissance des vérités que l'ignorance et la mauvaise foi peuvent seuls s'obstiner à repousser, et tu sortiras de cet amphithéâtre où se presse la foule, en répétant ces paroles de l'illustre professeur : « L'astronomie est la science dont l'esprit humain peut le plus justement se glorifier. Cette

prééminence incontestable, elle la doit à l'élévation de son but, à la grandeur de ses moyens d'investigation, à la certitude, à l'utilité, à la magnificence inouïe de ses résultats! »

Je ne t'enverrais pas non plus mes cahiers si le cours de M. Arago était publié.... Mais tu n'habites point Paris ; mais les prétendus extraits qu'on a osé donner au public des leçons d'astronomie du célèbre professeur ne ressemblent en rien à ce que nous avons eu le bonheur d'entendre... Il faut donc venir en aide, autant qu'il dépend de moi, au zèle dont je te vois animée.

En relisant ces cahiers que tu attends si impatiemment, dis-tu, j'ai senti la nécessité de les mettre en ordre, puis de les recopier et d'élaguer ce qui pourrait te paraître trop *scientifique*.

Tu n'es pas une écolière, ou un disciple, si tu l'aimes mieux, facile à contenter. Avant que d'accepter comme *vérités* les *vérités* enseignées par la science, tu veux savoir *comment* on est arrivé à les reconnaître, à les prouver. C'est ce *comment* qui va sans cesse me préoccuper dans le travail que j'entreprends pour toi. Je suis fort occupé tu le sais, et il ne m'est possible de te consacrer que mes loisirs; ne t'étonne donc pas de la lenteur que j'ai mise à faire ce premier envoi, et ne t'étonne pas davantage des intervalles parfois assez longs

qui pourront séparer les envois suivants. Ceci te donnera le temps de lire avec réflexion et même de relire chaque cahier en consultant tes livres élémentaires ; car, ma petite sœur, il ne s'agit pas ici d'un cours d'astronomie, il s'agit seulement d'éclaircissements destinés à venir à l'appui de ce que ces livres enseignent; ce sont des extraits d'ouvrages admirables, mêlés au récit des travaux et des découvertes des plus beaux génies des temps anciens et modernes. Tu vas suivre pas à pas, pour ainsi dire, ces beaux génies ; tu vas voir poindre, puis grandir les sublimes vérités qui, en développant la pensée, font remonter l'esprit humain à la source divine d'où découle sans efforts tant de grandeur, tant de magnificence et d'harmonie.

Lis donc attentivement, ma chère Laure. Ces cahiers ne contiennent rien que tu ne puisses comprendre. Oui, ce sera pour moi un beau jour que celui où tu me diras : Je crois aux vérités enseignées par l'astronomie !

PREMIER CAHIER.

UTILITÉ DE L'ASTRONOMIE.

Au temps où tu étais petite, ma chère Laure, tu demandais toujours, lorsque quelque chose de nouveau était présenté à ta vue : A quoi cela peut-il servir ? Plus tard, notre mère et moi, nous avons dû te ranger, tu le sais, au nombre des *utilitaires*, secte fort répandue aujourd'hui, car plus que jamais chacun, avant d'accorder son attention à quoi que ce soit au monde, s'écrie : A quoi bon ? Je veux et je dois donc te dire, dès

le début, quelques mots de l'*utilité* de l'astronomie pour l'humanité entière.

L'étude du firmament, de cette voûte magnifiquement parsemée d'étoiles, l'étude de la marche régulière des corps errants qui brillent d'une lumière tranquille, tandis que les étoiles scintillent, peut seule faire prendre à l'homme une idée grande et digne de la toute-puissance de Dieu et des attributs du Créateur, qui sont : la grandeur, l'ordre, la simplicité et la plus admirable harmonie. Alors seulement que l'œil de l'homme observe la voûte étoilée, alors seulement qu'il contemple cette immensité sans bornes, sans limites, sans fin comme son Auteur, l'homme sent mieux et répète avec une conviction plus profonde ces paroles du Psalmiste : « Les cieux proclament la gloire du Très-Haut et le firmament montre l'œuvre de sa main. Le jour qui succède au jour est un langage, la nuit qui succède à la nuit, est un enseignement qui se font entendre et comprendre de tous.

Oui, ma sœur, la science nous élève jusqu'à la cause divine d'où résulte le phénomène du mouvement des corps célestes ; elle nous fait suivre les pas du Créateur dans l'espace et reconnaître la sagesse admirable qui a présidé à l'ordre établi ; ordre immuable, soumis à des lois également immuables et dont la simplicité porte ce cachet de puissance et de grandeur que présentent seules les œuvres de Dieu !

Et c'est ainsi, ma Laurette, que l'astronomie, en éclairant l'homme sur ce qui est éternellement vrai, et c'est ainsi que l'astronomie, en le faisant remonter, et par l'intelligence et par le savoir, vers l'Auteur de tant de merveilles, a renversé les autels que l'ignorance et la superstition avaient dressés. Sans elle, aujourd'hui comme dans les premiers âges du monde, les éclipses seraient l'annonce de la destruction de notre globe si chétif ou de tout ce qui recouvre la croûte terrestre; sans elle, les comètes à la queue flamboyante seraient les avant-coureurs de la colère divine; elles ne paraîtraient que pour annoncer la mort des princes, la chute des empires, la famine et la peste; sans elle, enfin, l'astrologie répandrait encore de folles terreurs dans toutes les âmes !... En quelques contrées de la terre, ces misérables superstitions règnent toujours, parce que là n'a point été porté le flambeau de la science, parce que là ses clartés ne sont pas venues dissiper les ténèbres de l'ignorance qui rend si pusillanime cet esprit humain naturellement faible et craintif, et pour lequel la vue d'un phénomène qui semble intervertir l'ordre établi est une nouvelle source de terreurs et de puériles superstitions. Mais partout où les connaissances positives, dues à tant de travaux, aux travaux de tant de siècles, ont pénétré, l'homme a cessé de rendre les étoiles solidaires de ses fautes, de sa démence, de ses crimes. Il a com-

pris qu'à la distance infinie où sont les étoiles, notre misérable globe est, pour ces autres soleils, comme s'il n'existait pas; et que les positions diverses des comètes et des autres planètes, semblables en tant de points à la planète que nous-mêmes nous habitons, positions déterminées par des lois auxquelles la Terre aussi obéit, n'annoncent rien de relatif au sort futur de tel ou tel homme, cet homme fût-il empereur ou paysan destiné à régner un jour; car on sait maintenant que c'est le mouvement général de notre système solaire qui les met tantôt en opposition et tantôt en conjonction avec notre centre commun d'attraction, le Soleil.

Je n'ai pas besoin, je pense, de te rappeler ce que l'histoire t'a appris des premiers âges de l'astronomie. Les peuples pasteurs, tu le sais, premiers fondateurs de cette science, et même plus tard quelques nations civilisées et puissantes, ne possédaient pour tout calendrier qu'un petit nombre d'observations sur la Lune et le coucher des étoiles, et sur les changements que, suivant les saisons, paraît subir la voûte étoilée. Ainsi, chez les Grecs, Arcturus, Orion, les Pléïades, indiquaient seuls les différentes saisons de l'année; et, chez les Égyptiens, le lever de Sirius avec le Soleil annonçait à la fois et la crue du Nil, et l'époque des semailles, qui avaient lieu aussitôt après que ce fleuve était rentré dans son lit. Quel est, de nos jours, l'agriculteur le

plus ignorant qui n'en sache davantage, et que le calendrier n'instruise d'avance des travaux que nécessite chaque changement de saison? Pour lui, l'astronome a observé les mouvements de la voûte étoilée; pour lui, l'astronome a dressé ces Tables si commodes qui divisent l'année en quatre parties égales, et ces quatre parties en mois, en semaines, en journées.

Sans l'astronomie, comment ces journées elles-mêmes auraient-elles pu être subdivisées en heures, les heures en minutes, les minutes en secondes!... Je t'entends d'ici te récrier, parce que jamais tu n'as songé à te demander où l'homme a pris la mesure du temps; et encore moins auras-tu songé à te dire : Mais qu'est-ce en réalité que le temps?... Laplace va te l'apprendre : lis avec attention, je te prie.

« Le temps est, pour nous, l'impression que laisse dans la mémoire une suite d'événements dont nous sommes certains que l'existence a été successive. Le mouvement est propre à lui servir de mesure; car un corps ne pouvant être dans plusieurs lieux à la fois, il ne parvient d'un endroit à un autre qu'en passant par tous les lieux intermédiaires. Si, à chaque point de la ligne que ce corps décrit, il est animé de la même force (ou vitesse), son mouvement est uniforme, et les parties de cette ligne peuvent mesurer le temps employé à la parcourir. »

Réfléchis, ma Laurette, à ce que tu viens de

lire, et tu reconnaîtras toi-même que le temps n'est pas autre chose, en effet, que l'*impression* produite par une *succession*, d'événements, et que, qui dit *succession*, dit *mouvement*. Mais, suivant que ces événements *venant*, *marchant* l'un *après* l'autre, c'est-à-dire se *succédant*, te sont agréables ou pénibles, tu mesures fort différemment la durée du temps pendant lequel ils se sont succédé. Par exemple, si tu passes la matinée auprès d'une amie, cette matinée te paraîtra n'avoir pas eu une heure de durée; si tu es, au contraire, en visite de cérémonie avec notre bonne mère, un quart-d'heure aura pour toi la durée d'une heure. Es-tu seule, et fais-tu un travail qui t'ennuie, tu ne mesures pas le temps de la même manière que lorsque tu fais un travail qui te plaît; et cependant *le temps* a marché d'un pas toujours égal; tu n'as qu'à regarder ta montre, elle te le prouve; rien ne ralentit, rien ne précipite le mouvement régulier des deux aiguilles. Ce n'est donc point d'après la *succession* de tes idées ou de tes sensations que tu peux *mesurer* la durée du temps; ce n'est pas non plus d'après la succession des événements d'ici-bas, puisque les uns ont lieu quelquefois coup sur coup, tandis que, pour d'autres, des mois, des années s'écoulent avant qu'ils se succèdent; tu chercherais donc vainement sur la terre cette uniformité constante dans la succession des événements et cette régularité de

mouvements qui sont à la fois et l'*impression* et *la mesure* du temps.

Mais si tu lèves tes regards vers le firmament; si tu observes la marche invariable, constante de toute la voûte étoilée, tu trouves ce que ne te présente aucune autre partie de l'univers visible, des corps constamment animés de la même force ou vitesse et parcourant des distances égales dans des intervalles égaux ! L'astronomie a donc pu seule donner *la mesure* du temps, et, ceci, dès les premiers âges du monde.

Ses divisions ont été d'abord ce que la plus simple observation peut fournir : le lever et le coucher du Soleil, qui déterminent naturellement la durée du jour et la durée de la nuit. D'autres observations ont fourni la division en mois lunaires; d'autres observations encore ont amené à reconnaître la durée de la révolution solaire, qui comprend un certain nombre de mois lunaires, et l'on a eu la durée d'une année. Telle est l'origine du calendrier; mais il a fallu une foule d'autres observations pour arriver à faire concorder entre elles les révolutions lunaires et les révolutions solaires, afin d'établir la juste mesure du temps, et une foule d'autres observations encore pour arriver à la division du jour par heures, a la subdivision de l'heure par minutes et par secondes.

Sans cette mesure du temps, due tout entière, tu le vois, à l'observation des mouvements suc-

cessifs des corps célestes, c'est-à-dire à l'astronomie, la chronologie n'existerait pas. Les observations astronomiques donnent, en outre, le moyen de préciser, au milieu des ténèbres des premiers âges dont l'histoire ne nous est venue que par tradition, certaines époques, certaines dates perdues dans la nuit des temps. Ces observations ne furent assurément pas alors ce qu'elles sont aujourd'hui, puisqu'alors c'était la terreur, c'était la superstition qui tenaient note des éclipses, des éclipses de Soleil surtout, l'un des phénomènes célestes les mieux faits pour se graver dans la mémoire des peuples par la consternation qu'ils répandaient à ces époques de complète ignorance; mais enfin c'est à l'observation des éclipses, c'est au souvenir gardé de l'apparition des comètes que les historiens ont dû de recouvrer des dates précieuses, lorsque, plus tard, les nations ayant commencé à posséder des annales écrites, une partie de ces annales s'est trouvée perdue; et c'est ainsi que le célèbre Halley a pu déterminer, avec la plus grande précision, le jour et l'heure de la descente de Jules César en Angleterre. Si la chronologie des Chinois est la plus authentique de toutes, cet avantage est dû au soin religieux avec lequel a été noté le nombre des éclipses observées par eux; ce nombre offre la preuve de l'ancienneté de l'empire chinois, et la fait remonter à cinq mille ans.

La géographie, la marine doivent plus encore à l'astronomie; et ici l'*utilité* est *palpable* autant que générale; elle touche chacun des membres de la grande famille humaine. Tu conviendras, je pense, ma petite sœur, que la connaissance de la position des différentes contrées dont se compose la surface du globe, n'est pas un objet de vaine curiosité, et cette connaissance se lie intimement aux découvertes de l'astronomie. Tu n'as fait encore que l'entrevoir, parce que tu n'as pas voulu *permettre* qu'on te montrât que l'étude du globe céleste ne peut être séparée, sans dommage pour l'écolière, de celle du globe terrestre; j'espère que quelque jour tu seras complétement convaincue des vérités si belles dues à l'observation et à ce travail intellectuel qui fait saisir à l'homme les rapports, au premier aspect les plus éloignés, entre les lois qui régissent la matière dans l'espace et celles qui régissent le plus petit atome de matière sur la surface du globe.

Je me bornerai, pour le moment, à te rappeler que, pendant bien des siècles, l'art des marins ne fut qu'incertitude; pendant bien des siècles, les plus hardis navigateurs n'osèrent pas s'éloigner des côtes; ce furent les observations astronomiques qui donnèrent le courage et l'audace d'affronter les tempêtes, et qui servirent de guide sur les flots.

Plus l'art nautique a grandi, plus les hommes

ont dû attacher d'importance à la science dont les enseignements seuls pouvaient leur fournir les moyens de reconnaître, avec la dernière certitude, la route suivie sur les plaines liquides, et le point où le navire était parvenu alors que depuis des semaines, que depuis des mois, il avait perdu la terre de vue; aussi, les gouvernements des nations civilisées ont-ils encouragé les travaux des astronomes, et proposé des récompenses, des prix, afin d'exciter le zèle et de multiplier les découvertes utiles à la politique, au commerce, à la science. C'est dans ce but que des voyages scientifiques furent ordonnés sous Louis XIV; c'est dans ce but que l'Angleterre fonda un prix considérable pour celui qui découvrirait la méthode la plus certaine et la plus prompte de trouver, en mer, la longitude.

Tu le vois, ma sœur, l'utilité de l'astronomie est immense. Par elle l'homme s'est élevé à la contemplation intelligente des beautés et de la grandeur de la Création; contemplation qui l'a conduit à concevoir l'immensité, la toute-puissance sans bornes du Créateur, et à l'honorer dans sa magnificence; à lui rendre un culte plus digne, par l'application sage de l'intelligence et de la raison (les plus beaux dons que nous ait fait sa bonté), à des études qui n'appartiennent qu'à l'homme entre tous les êtres créés. Et de cette source pure sont résultés, pour l'humanité entière, des avantages réels.

Je n'insisterai pas sur ce sujet, parce que j'espère t'avoir convaincue de la nécessité d'accorder toute ton attention aux travaux de ceux qui ont marché à pas de géant dans ce domaine sans limites, et qui ont osé mesurer l'espace avec le compas, déterminer les lois qui régissent le mouvement des corps célestes, *peser* le Soleil, la Lune, les planètes, et prouver à tous qu'une seule et unique loi, celle de la pesanteur universelle, gouverne l'univers, produit les phénomènes si divers dont nos yeux sont éblouis, et entretient partout cette admirable harmonie par laquelle Dieu manifeste et sa toute-puissance et sa grandeur!

DEUXIEME CAHIER.

LA TERRE.

Je me rappelle avoir connu une jeune fille qui s'étonnait beaucoup de ce qu'*à propos* d'astronomie, on commençât toujours par parler de *la Terre*. Cette jeune fille, ce n'était point ma sœur, je me hâte de le dire, afin que tu ne m'accuses pas de débuter par te lancer une épigramme. Ma sœur a bien pu traiter de *contes*, dans son étourderie, *les vérités astronomiques*, mais je ne

crois pas pourtant qu'elle ait jamais sérieusement douté de *toutes* ces vérités; par conséquent elle a dû accepter la Terre pour une planète; à ce titre, la Terre fait partie du firmament, et parler de la Terre est donc *à propos*, quand on parle d'astronomie.

Je n'ajouterai pas à cette considération une banalité; c'est qu'il est bon, c'est qu'il est sage de faire connaissance avec la planète qu'on habite, avant de chercher à faire connaissance avec celles qui marchent de conserve dans l'espace, puisque c'est justement par le secours des phénomènes qu'elle nous présente que nous pourrons arriver à proclamer l'*identité* de ses *consœurs*.

Nous ne répèterons pas davantage une foule de choses qui sont devenues maintenant aussi des lieux communs: telles, par exemple, que la forme en plateau prêtée à la Terre par les anciens; la forme en canot que lui assignait Héraclite, philosophe grec, qui vivait 500 ans avant Jésus-Christ; enfin, la forme en cylindre que lui reconnaissait Anaximandre, contemporain d'Héraclite. Mais nous remarquerons qu'Aristote, cet oracle de l'antiquité, fut le premier à deviner la forme sphérique, universellement reconnue aujourd'hui. Cette forme ne t'a-t-elle pas été prouvée, ma chère Laure, par les voyages autour du monde des Magellan, des Drack, des Anson, des Cook, etc. etc.? A différentes époques, ces

hardis navigateurs ont fait, à la lettre, le *tour* du monde, en se dirigeant constamment vers l'orient; direction qui les a ramenés au point du départ. Ceci prouve, en outre, que la mer elle-même s'arrondit sur la surface sphérique du globe; ce que nous démontre, au reste, une autre preuve proclamée par quiconque a pu apercevoir de la grève une vaste étendue d'eau salée, ou par quiconque est allé en pleine mer: c'est-à-dire que le navire, signalé au loin, ne montre d'abord que l'extrémité supérieure de ses mâts se dessinant à l'horizon, et que le corps du vaisseau semble, à mesure qu'il approche, *monter* à la surface des flots.

Passons à présent à quelques preuves scientifiques.

Une des plus remarquables est la forme circulaire de l'ombre de la Terre se dessinant sur la Lune dans les éclipses lunaires. La Lune, tu le sais, n'étant pas un corps lumineux par lui-même et ne faisant que réfléchir la lumière du Soleil, se trouve éclipsée lorsque la Terre, dans sa marche, s'interpose entre elle et le Soleil. Toutes les éclipses de Lune, tu le sais encore, ne sont pas complètes; or, si la Terre n'était pas un corps sphérique, l'ombre qu'elle projette sur la partie éclipsée de la Lune ne dessinerait pas une ligne circulaire; et c'est ce qui a lieu. Je me borne à ceci, afin de ne pas m'exposer au reproche que tu pourrais bien me faire d'avoir

promis de te donner ce qu'on ne trouve pas dans les livres élémentaires, et de redire pourtant ce que tous répètent à satiété. Nous ne faisons d'ailleurs qu'effleurer ce qui se développera tout naturellement par la suite.

La forme sphérique de la Terre étant une fois acceptée, occupons-nous de deux de ses mouvements, celui de rotation sur elle-même et celui de translation autour d'un centre d'attraction, le Soleil, qu'on ne peut plus lui refuser. Mais, d'abord, jetons un coup d'œil sur ce que les astronomes appellent le *monde visible*, c'est-à-dire sur notre système solaire. Ce monde visible n'est pas l'*univers*. L'univers est la création toute entière, l'espace sans bornes, l'infini; il est donné à l'homme de le concevoir par la pensée; il ne lui est pas donné d'y pénétrer, même avec le secours des meilleurs instruments d'optique.

Tu sais qu'au centre de notre système solaire est le Soleil; qu'autour de lui gravitent, dans un ordre immuable, Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Vesta, Junon, Pallas, Cérès, Jupiter, Saturne et Uranus; tu sais encore que Mercure et Vénus, décrivant une orbite qui se trouve comme renfermée dans celle de la Terre, ont reçu le nom de *planètes inférieures*, tandis que les autres sont désignées sous celui de *planètes supérieures*; ceci est seulement *pour mémoire*. Voyons à présent comment nous y prendre pour arriver à apercevoir au moins de quelle manière

se meut notre globe; du moment que nous l'aurons découvert, nous pourrons nous former une idée réelle et complète des mouvements de tout notre système solaire, dans lequel apparaissent de temps en temps des comètes.

La voie la plus courte et la plus sûre pour arriver là, c'est l'observation. L'observation nous montre le Soleil et les étoiles *paraissant* se mouvoir chaque jour d'orient en occident, et revenir à la même place au bout de vingt-quatre heures. Si ce mouvement est réel, la Terre est nécessairement immobile; si ce mouvement n'est qu'apparent, il faut que ce soit la Terre qui tourne; car il est de toute évidence que de deux choses, de deux objets qui changent de position relativement l'un à l'autre, l'un des deux se meut, à coup sûr. Examinons donc lequel des deux mouvements, ou celui du Soleil et des étoiles autour de la Terre, ou celui de la Terre sur elle-même, est vraisemblable.

Le Soleil est plus d'un million de fois plus gros que la Terre; on peut croire que le volume des étoiles n'est pas moindre. Te paraît-il croyable que ce soient les étoiles et le Soleil qui se trouvent astreints à tourner en vingt-quatre heures autour de notre globe si chétif, et la supposition que c'est la Terre qui tourne sur elle-même dans ce court espace de temps ne satisfait-elle pas mieux ta raison et ton bon sens ?

Les antagonistes du mouvement de rotation

de la Terre recourent à une objection qui paraît décisive au premier moment. Si, en effet, disent-ils, la Terre tournait, nous aurions le sentiment de ce mouvement qui doit être des plus rapides, pour que la révolution ait lieu dans les vingt-quatre heures.

Mais on est fondé à répondre que tout ce qui recouvre la surface du globe, et l'atmosphère elle-même, partageant ce mouvement, il nous devient nécessairement insensible, et que sa rapidité même contribue puissamment à en annuler la sensation.

As-tu remarqué, ma Laurette, lorsque des chevaux vigoureux ou lorsqu'une locomotive emporte la voiture dans laquelle tu te trouves, que le mouvement te devient *insensible* du moment que tu fermes les yeux? As-tu remarqué encore que tu le partages, ce mouvement, et à tel point, que si la voiture s'arrête subitement, tu t'élances en quelque sorte en avant, par suite de cette impulsion reçue à ton insu? Maintenant ouvre les yeux; tu perçois la sensation du mouvement soit en avant, soit en arrière, et de sa rapidité, par la rapidité avec laquelle les objets *semblent* fuir ou venir au-devant de toi; dès l'instant que ce moyen de te rendre compte du mouvement et de sa rapidité te manque, tu cesses d'en percevoir la sensation. J'ai dit que les objets *semblent* fuir ou bien venir au devant de toi... Tu es bien certaine, n'est-ce pas, que ce ne sont

pas les objets qui se meuvent; il faut donc que ce soit toi qui te trouves en mouvement; mais tu ne marches pas, et, du moment que tu fermes les yeux, tu n'as plus la sensation de l'impulsion qui t'emporte en avant ou bien en arrière; alors ce doit être assurément la voiture dans laquelle tu te trouves qui marche. Eh bien, la révolution du Soleil et de toute la voûte étoilée *autour* de notre globe ne peut-elle pas être de même un effet *apparent* bien plutôt qu'un fait *réel?* Observe, réfléchis, et prononce toi-même; mais auparavant, écoute encore ce que dit Laplace : «Le mouvement de la Terre étant commun à tous les corps situés à sa surface et aux fluides qui la recouvrent, leurs mouvements relatifs sont les mêmes que si la Terre était immobile. Ainsi, dans un vaisseau emporté d'un mouvement uniforme, tout se meut comme s'il était en repos. Un projectile lancé verticalement de bas en haut retombe au point d'où il était parti; il paraît, sur le vaisseau, décrire une verticale; mais, vu du rivage, il se meut obliquement à l'horizon et décrit une courbe parabolique. — On peut, par des expériences très-précises sur la chute des corps, rendre sensible le mouvement de rotation de la Terre.— Le mouvement de rotation de la Terre se manifeste à sa surface principalement par les effets de la force centrifuge qui aplatit le sphéroïde terrestre aux pôles et diminue la pesanteur à l'équateur; deux phénomènes que

les mesures du pendule et les degrés du méridien nous font connaître. »

Que de choses, ma sœur, en peu de mots! Nous reviendrons sur chacune de ces choses-là; mais voyons auparavant si nous ne pouvons pas nous rendre compte, avec la même facilité, du mouvement de translation de la Terre qui la fait tourner autour du Soleil en une année, pendant, qu'en même temps, elle tourne sur elle-même en vingt-quatre heures.

La preuve que la Terre n'est pas le centre du mouvement des corps célestes va nous être fournie par l'observation des autres planètes qui appartiennent à notre système solaire.

En quelque lieu de notre système solaire que se trouve le Soleil, il est bien certain pour nous que Vénus décrit autour de lui une ellipse, puisque nous la voyons tantôt au-delà, tantôt en-deçà de ce centre d'attraction, et, parfois, entre le Soleil et nous. Mercure, plus difficile à observer parce qu'il disparaît souvent dans la splendeur des rayons solaires, preuve qu'il est plus près que Vénus elle-même du centre d'attraction, doit donc, en tournant autour de ce même centre, décrire une ellipse qui se trouve comme enfermée dans l'orbite de Vénus; c'est ce que démontre l'observation. Ainsi, voilà déjà deux planètes qui ont pour centre d'attraction le Soleil, et non point la Terre.

Les planètes supérieures, Mars, Vesta, Junon,

Pallas, Cérès, Jupiter, Saturne et Uranus, tournent aussi autour de ce même centre, ce que prouve encore l'observation; ces astres errants doivent nécessairement enfermer la Terre dans leurs orbites, qui sont d'autant plus grandes que la distance où se trouve chaque planète du centre commun est plus considérable. Supposeras-tu maintenant, ma sœur, que la Terre, dans ce mouvement général, soit la seule à rester immobile, ayant, d'un côté, les planètes inférieures plus voisines qu'elle du Soleil, de l'autre côté les planètes supérieures, plus éloignées, qui tournent toutes autour de ce centre commun d'attraction, et non pas autour de la Terre, il faut bien le reconnaître? Tu trouveras plus vraisemblable, je n'en doute pas, de supposer que la Terre, qui présente d'ailleurs les principaux caractères communs aux astres errants, subit la loi générale et qu'elle décrit elle-même une orbite dans laquelle se trouvent enfermées les orbites de Vénus et de Mercure.

Ceci n'est plus maintenant une supposition, une hypothèse; c'est un fait avéré, c'est une vérité prouvée avec la dernière évidence; et, Dieu merci, on peut le proclamer sans avoir à craindre de se voir accusé devant l'Aréopage, comme le fut Aristarque de Samos, ou devant l'Inquisition, comme le fut plus tard le célèbre Galilée, du crime de lèse-religion et de lèse-morale. A ceux qui opposent, aux découvertes

positives de la science, les enseignements des livres saints, on est en droit de rappeler ces paroles divines : *La lettre tue et l'esprit vivifie!* Ainsi, lorsque Josué parle du Soleil et de la Lune s'arrêtant dans leur marche pendant que les Juifs se vengent de leurs ennemis, Josué proclame surtout la toute-puissance de l'Éternel, qui peut faire que ce qui n'est pas, soit; et, lorsque Job parle des piliers qui supportent la Terre, Job se sert simplement des images employées dans un temps où les connaissances astronomiques étaient complètement nulles. Ainsi donc les leçons de la science, bien loin d'attaquer les enseignements de la religion et de la morale, fortifient au contraire, par le concours de la vérité *prouvée* et de la raison, le respect et l'admiration dus à l'Auteur de tant de merveilles, à cette Majesté divine qui se manifeste de toute part avec une si sublime grandeur, avec une simplicité si sublime!

TROISIEME CAHIER.

LE SYSTÈME SOLAIRE. — LES ÉTOILES, GÉNÉRALITÉS.

Je t'ai dit, ma sœur, dans le précédent cahier, que la Terre présente les caractères distinctifs propres aux planètes. Tu les connais, je n'en doute pas; cependant permets-moi de les rappeler.

Il a été reconnu, d'après l'observation, que les planètes sont un sphéroïde aplati aux deux pôles, et renflé à l'équateur; que ce sphé-

roïde est un corps opaque, qui n'est point lumineux par lui-même, et qui a, sur son axe, un mouvement de rotation, pendant la durée duquel une moitié seulement se trouve éclairée par la lumière du Soleil, tandis que l'autre moitié est dans l'obscurité. Il a été reconnu encore que ce sphéroïde est, en général, entouré d'une atmosphère, et qu'il se meut par un mouvement de translation autour du Soleil, en décrivant une ellipse.

Ces observations, qui nous font connaître les caractères propres des planètes, ont pu être faites, tú le sais de même, au moyen des excellents instruments que l'optique fournit à l'astronomie; ce que tu sais encore également, que le mouvement de rotation de Mercure et de Vénus, qui ont des phases comme la Lune, a été reconnu par l'apparition et la disparition régulière d'aspérités ou de taches à leur surface. Si, comme le croient quelques personnes à imagination vive, ces deux planètes sont habitées, et qu'il s'y trouve des astronomes munis d'instruments aussi bons que les nôtres, la Terre que nous habitons ne peut manquer d'avoir été mise par eux au rang des planètes; chose à laquelle tu consens, je pense, à présent que tu ne doutes plus qu'elle tourne sur elle-même en vingt-quatre heures et autour du Soleil en trois cent soixante-cinq jours et six heures; qu'elle n'est point lumineuse par elle-même;

qu'elle reçoit d'un côté seulement les rayons du Soleil, tandis que l'autre côté se trouve plongé dans l'obscurité : qu'elle est aplatie aux deux pôles, renflée à l'équateur, et enfin qu'elle a une atmosphère.

Nous possédons, de plus que Mercure et Vénus, un satellite, la Lune ; ce caractère particulier a pu nous donner quelque orgueil aussi longtemps qu'il a été possible de croire que, sous ce rapport, notre planète avait été distinguée ; mais aujourd'hui, si Mars peut passer à nos yeux pour fort inférieur à nous, quoiqu'il appartienne aux planètes dites supérieures, parce qu'à la lunette il paraît être une sphère incomplète, les quatre satellites de Jupiter, l'anneau si magnifique de Saturne, ses sept satellites et les six satellites accordés à Uranus, bien qu'on ne lui en connaisse avec certitude que deux, nous obligent d'avouer que cet orgueil est sans fondement, et de revenir à des sentiments plus convenables à la toute petite place que nous tenons dans notre *monde visible*.

Afin de t'aider, ma Laurette, à retenir ce que les livres élémentaires ont dû t'apprendre sur la durée de la rotation des planètes, sur celle de leur révolution autour du Soleil, et enfin sur leur vitesse dans leur orbite, je joins ici un tableau synoptique qui gravera facilement et sûrement ces choses-là dans ta mémoire. Tu remarqueras une lacune en ce qui touche les

quatre petites planètes récemment découvertes; lacune que de nouvelles observations aideront à combler quelque jour, de même que celle qui existe encore sur la durée de la rotation d'Uranus ou Herschell; car cette planète est également désignée par ces deux noms.

NOMS et signes distinctifs DES PLANÈTES.		DURÉE de LA ROTATION.	DURÉE de la révolution dans L'ORBITE.	VITESSE dans l'orbite ; nombre de lieues à l'heure.
		heur: m.	jours: heur:	
MERCURE...	☿	24 — 5	87 — 23	40,000
VÉNUS......	♀	23 — 21	224 — 17	29,000
LA TERRE..	♁	23 — 56	365 — 6	2,400
MARS.......	♂	24 — 31	686 — 23	20,000
VESTA.....	⚶	....	1,335	
JUNON......	⚵	....	1,591	
CÉRÈS......	⚳	....	1,681	
PALLAS.....	⚴	....	1,682	
JUPITER.....	♃	9 — 56	4,333	11,000
SATURNE....	♄	10 — 16	10,759	8,000
URANUS....	♅	....	30,689	5,600

J'ai omis à dessein la distance moyenne des planètes au Soleil, leur distance moyenne à la Terre, et enfin leurs diamètres; nous reviendrons, quand il le faudra, sur tout cela. Je me suis servi, en outre, de la mesure en lieues, parce qu'elle présente une idée moins vague que les mesures en kilomètres auxquelles tu n'es pas encore habituée; tu peux, d'ailleurs, faire toi-

même la *traduction* des lieues en kilomètres. Mais fais attention à une chose, c'est que je ne m'arrête pas sur tout ce que tu peux trouver au sujet des planètes dans tes livres d'étude; tu dois donc y recourir, ces cahiers n'étant destinés qu'à éclaircir certaines difficultés, qu'à lever certains doutes laissés dans ton esprit par les abrégés sur l'astronomie.

Je t'ai dit, tout à l'heure, que les astronomes de Mercure et de Vénus surtout, qui est notre plus proche voisine entre toutes les planètes, n'ont pu manquer de reconnaître dans notre globe une planète véritable; les habitants de la Lune, si tant est qu'elle ait des habitants et qu'elle manque d'astronomes, regardent assurément notre globe, comme étant leur satellite. C'est une impertinence, puisque la Lune tourne autour de nous, et que ce n'est pas nous qui tournons autour de la Lune; c'est une impertinence, puisque la Terre est quarante-sept fois plus grosse que la Lune. Mais il faut la leur pardonner, afin qu'on nous pardonne celle qui nous a fait supposer que le Soleil, qui est plus d'un million de fois plus gros que la Terre, et que toute la voûte étoilée tournaient autour de notre pauvre petit globe.

Lorsque nous avons nouvelle Lune, les habitants de notre satellite ont *pleine Terre*; quand la Lune est à son premier quartier, la Terre est pour eux à son troisième quartier. Nous par-

lerons au long, et plus tard, des *bizarreries* de notre satellite ; bizarreries dont il n'est pas cause et qu'on aurait mauvaise grâce à lui reprocher. En ce moment nous nous bornons à jeter un coup d'œil sur tout le sytsème solaire. Je te rappellerai seulement ce que tu sais, sans aucun doute, c'est que la révolution de la Lune sur son axe a lieu tout juste pendant la durée du temps qu'elle met à exécuter sa révolution autour de la Terre, un peu moins d'un mois, de sorte que nous ne voyons jamais qu'une de ses faces, toujours la même, et que les habitants de son autre hémisphère, en supposant toujours qu'elle en ait, ne se doutent peut-être pas qu'il y ait dans l'espace un globe terrestre, que leur globe, à eux, accompagne fidèlement. Mais, en revanche, nous apparaissons à ceux de l'hémisphère qui nous regarde, (j'entends l'hémisphère), sous un diamètre treize fois plus grand que celui du Soleil, ce qui doit être la cause de quelque nouvelle erreur dans le genre de celles que nous avons commises longtemps ici-bas, à savoir, que le Soleil est notre très-humble serviteur. M. Arago suppose fort spirituellement à ce sujet que les habitants de celui des hémisphères de la Lune que nous ne voyons jamais, doivent nécessairement faire quelques voyages dans l'autre hémisphère que nous voyons, et d'où l'on voit la Terre, pour jouir du beau spectacle que doit leur pré-

senter notre globe *immense*, relativement à la grosseur de la Lune, lorsqu'il y a *pleine Terre.* Cette supposition est tout à fait vraisemblable.

Pour compléter la nomenclature des corps célestes qui appartiennent à notre système solaire, il nous reste à dire quelques mots des comètes. Leur nombre n'est pas connu.

Il résulte des observations multipliées dont ces corps errants ont été l'objet, qu'ils se meuvent autour du Soleil, et que les orbites très-allongées qu'ils décrivent, croisent en différentes directions celles des planètes. Jusqu'à ce jour on a considéré leur noyau comme un corps opaque et solide, semblable à celui des planètes, et qu'accompagne toujours une longue queue, partant du point de la comète le plus éloigné du Soleil.

Tu sais déjà, ma sœur, que les ellipses décrites par ces astres singuliers sont d'une étendue presque inconcevable, et qu'il arrive parfois que les comètes approchent tellement du Soleil, que le noyau doit finir par se trouver vitrifié.

Notre système, tu le vois, est assez riche en merveilles pour satisfaire l'imagination la plus avide, et pour agrandir l'idée que nous avons pu concevoir de Dieu par la seule contemplation de la voûte céleste; mais cette idée va s'agrandir encore, si nous portons nos regards au-delà du système solaire, où se meuvent, dans un ordre

parfait et avec une harmonie parfaite, tous ces astres errants.

C'est dans les hautes régions, c'est dans l'espace que la majesté du Tout-Puissant se trouve tracée en caractères gigantesques; c'est là que les distances n'ont, pour ainsi dire, plus de limites; c'est là que l'immensité apparaît enfin, et alors, confondu d'admiration, abîmé dans le sentiment de sa petitesse, le Psalmiste s'écrie: «Seigneur, qu'est-ce que l'homme pour que tu te souviennes de lui? Et qu'est-ce que le fils de l'homme pour que tu prennes garde à lui?»

En effet, ma Laurette, si tu réfléchis que la lumière de l'étoile la *plus proche* de nous met *dix années* à nous parvenir, la lumière parcourant 77,000 lieues par seconde, chaque jour *contenant* 86,400 secondes, et chaque année, 365 jours et 6 heures, tu répéteras du fond du cœur les paroles du Psalmiste, et tu humilieras ton front, avec une admiration plus profonde, devant le Tout-Puissant! M. Arago nous a appris que, d'après le calcul des probabilités sur la distance de certaines étoiles, on peut dire que celles-là se trouvent à un *million d'années* de nous! En lisant ceci, tu vas t'écrier, sinon tout haut, du moins tout bas, j'en suis sûr: C'est assurément la Terre qui tourne et sur elle-même et autour du Soleil!

Oui, la Terre tourne sur elle-même; oui, la Terre se meut autour du Soleil, et ce double

mouvement produit le *mouvement apparent* du Soleil et de la voûte étoilée ; ce double mouvement produit le lever et le coucher du Soleil, le lever et le coucher des étoiles, et jusqu'aux mouvements rétrogrades que nous prêtons aux planètes.

La simple observation des étoiles à l'œil nu a permis de reconnaître qu'elles conservent constamment leur position relativement les unes aux autres ; de là le nom d'*étoiles fixes* qui leur a été donné. Mais ce n'est pas à dire qu'elles ne se meuvent point et qu'elles ne tournent pas sur elles-mêmes comme notre Soleil. La distance où elles se trouvent ne permet que de constater qu'elles ne prennent point de disque à la lunette comme les planètes, et ceci est encore une preuve de cette énorme distance. On est fondé à croire que chacune d'elles est un Soleil, et que chacun de ces Soleils, soumis aux mêmes lois que le nôtre, possède aussi, comme lui, un système planétaire qu'il éclaire, et qui se meut autour de ce centre d'attraction.

Vois-tu, ma sœur, comme s'étend l'espace! Vois-tu comme se multiplient les mondes, et ne sens-tu pas ton âme s'élever à mesure que grandit l'idée vague que tu t'étais faite de la majesté de Dieu?

Nous devons supposer que les étoiles désignées dans les catalogues par les mots de *première grandeur* sont les plus voisines; que celles de

seconde grandeur sont plus éloignées, et ainsi de suite jusqu'à la sixième grandeur; cette sixième grandeur comprend toutes les étoiles qu'il est impossible de découvrir dans le ciel sans le secours d'une lunette.

Par une belle soirée d'hiver, lorsque la Lune est sous l'horizon, lorsque la transparence de l'air n'est altérée par aucune vapeur, les étoiles nous apparaissent comme étant innombrables; et cependant celles qu'il est possible de voir à l'œil nu, et que les anciens ont classées en constellations, ne dépassent pas le nombre de mille; avec le secours du télescope, le catalogue des étoiles, déjà enregistrées en descendant jusqu'à la septième grandeur inclusivement, monte de quinze à vingt mille!

Tu es encore trop près, ma petite sœur, du temps de tes études mythologiques pour avoir oublié l'origine attribuée à la voie lactée. Il est donc inutile que je te rappelle la goutte de lait qu'Hercule laissa échapper de ses lèvres, lorsque Junon, qui ne voulait pas lui donner l'immortalité, le repoussa de son sein. Cette zone lactée qui entoure la voûte étoilée comme d'une ceinture se divisant, dans l'un de ses points, en deux branches, est composée d'un véritable *banc* d'étoiles qu'il est impossible de nombrer. Leur lumière, diffuse à l'œil nu, prête à cette zone une teinte blanchâtre qui la dessine nettement sur le firmament.

Je t'ai dit un mot tout à l'heure de l'hypothèse qui fait croire à l'existence d'un système planétaire entourant chaque étoile fixe et mu, autour de ce Soleil, du double mouvement de rotation et de translation. Les découvertes récentes de l'astronomie la confirment de plus en plus, et les mondes de Fontenelle, ces mondes habités par d'autres créatures qui proclament aussi la gloire et la puissance du Très-Haut, cessent aujourd'hui d'être regardés comme un jeu de l'esprit. L'homme éclairé par l'observation et par la science comprend enfin qu'il ne lui appartient pas de poser des bornes à la toute-puissance du Créateur; car l'homme éclairé par l'observation et par le savoir a été amené à reconnaître cette haute vérité: c'est que, dans l'univers, rien n'a été créé sans but; et, d'orgueilleux qu'il était, il est devenu humble. Orgueilleux, il osait faire tourner autour de la Terre le Soleil, les étoiles; orgueilleux, il osait supposer que ces lointains Soleils n'avaient été lancés dans l'espace que pour ajouter à la beauté de ses nuits, que pour embellir à ses yeux le firmament; humble aujourd'hui, parce que l'observation et la science sont venues lui dessiller les yeux, il a cessé de croire que les œuvres de Dieu se rapportent toutes à lui; il a conçu la pensée que ces étoiles, situées à des distances incommensurables, doivent être d'immenses sphéroïdes lumineux par eux-mêmes, dispensant au loin, comme notre

Soleil, la lumière et la chaleur à d'autres planètes, aux satellites de ces planètes; et, de la connaissance des lois qui régissent, depuis les corps célestes de notre système solaire jusqu'au moindre atome, animé ou inerte, qui végète ou qui roule sur la surface du globe, il a conclu que ces mondes, soumis à ces mêmes lois par l'éternelle Sagesse, doivent être habités; et que les créatures couvrant leur surface, dont l'origine est la même que la sienne, qui doivent à Dieu, comme lui, l'être et l'intelligence, sont une manifestation nouvelle de cette toute-puissance qu'il avait niée, alors qu'il croyait la proclamer, en la limitant!

Pouvoir, grandeur, sagesse, simplicité, durée, harmonie et magnificence, voilà ce que présente de toute part la création; voilà les attributs de l'Éternel!

QUATRIÈME CAHIER.

PTOLÉMÉE. — COPERNIC. — DESCARTES. — TYCHO-BRAHÉ.

L'HISTOIRE des astronomes s'unit étroitement, ma chère Laure, à celle de l'astronomie; et c'est seulement en les suivant dans leurs rêveries, dans leurs essais multipliés, dans leurs tâtonnements ou dans l'élan de leur génie, que nous arriverons à la profonde conviction des hautes vérités enseignées de nos jours par la science; par

cette science qui exige de ses disciples l'examen approfondi de ses enseignements.

Lorsque nous avons commencé à nous occuper d'histoire naturelle, tu t'es beaucoup effrayée, je m'en souviens, du *vaste* domaine qui s'ouvrait devant toi. Que dois-tu donc éprouver maintenant que te voilà en présence de l'espace indéfini! maintenant que tu vois ce globe terrestre, dont la surface t'avait paru être si vaste, confondu dans notre système solaire avec d'autres planètes dont la plupart présentent un diamètre bien supérieur au sien; n'apparaissant aux habitants de ces mondes errants que comme une étoile; étoile invisible pour le plus grand nombre des autres Soleils que nous appelons étoiles fixes, et enfin, ces étoiles fixes et leurs systèmes planétaires *supposables*, n'occupant qu'un point dans cet espace dont l'imagination la plus vive ne peut concevoir l'étendue!

Mais ce n'est pas en vain que Dieu a donné à l'homme l'intelligence, et l'intelligence de l'homme est arrivée à découvrir quelques-uns des sublimes secrets de la création.

Tu seras charmée, ma sœur, toi que j'ai vue si passionnée pythagoricienne, d'apprendre que Pythagore a, le premier, proclamé la doctrine du mouvement des planètes. D'après ce que nous ont appris ses disciples, cette doctrine n'était pas le fruit de ses propres observations; il l'avait reçue des peuples de l'Orient, parmi lesquels il

avait passé vingt années de sa vie, se pliant aux coutumes, aux mœurs, aux croyances de ces peuples divers, afin de parvenir, par le secours de leurs prêtres et de leurs mages, à la connaissance des sciences cultivées alors dans le sanctuaire seulement, et dont il était si avide.

Les disciples de Pythagore, à leur tour, enseignèrent que la Terre tourne sur son axe en vingt-quatre heures et répandirent des notions justes sur le système planétaire; ils rendaient compte de la marche des comètes d'une manière qui concorde avec les découvertes des modernes; ils enseignaient aussi la doctrine de la pluralité des mondes, soutenant que chaque étoile est un monde pourvu d'une partie au moins de ce que possède notre Terre, c'est-à-dire d'air et d'eau, et enfin que la Lune est habitée par des animaux beaucoup plus grands et bien plus beaux que ceux qui peuplent notre globe.

Mais ce système se trouvait tellement en opposition avec les apparences, tellement en dehors de toutes les idées reçues, qu'il n'eut pas *le moindre succès*, et il fallut que les savants, pour se faire écouter, consentissent à une espèce de compromis entre la vérité et l'erreur.

C'est ainsi que Ptolémée l'égyptien, contemporain de l'empereur Adrien, accordant au vulgaire l'immobilité de la terre et la plaçant au centre de l'univers, fit tourner autour d'elle, et dans l'ordre suivant, la Lune, Mercure, Vénus,

le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne. Je ne m'arrêterai pas aux cercles de cristal, aux sphères transparentes et solides, aux cieux inférieurs et supérieurs que Ptolémée se crut dans la nécessité de créer pour expliquer les mouvements *réels* des astres errants et les mouvements *apparents* des étoiles ; comme le dit Fontenelle : « Les cieux de cristal ne lui coûtaient rien ; aussi les multipliait-il sans mesure et sans fin. L'embarras de ces cercles était si grand, que dans un temps où l'on ne connaissait rien de meilleur, un roi de Castille (Alphonse), grand mathématicien, osa dire que si Dieu l'eût appelé à son conseil lorsqu'il fit le monde, il lui eût donné de bons avis. » Ces paroles, en apparence si hardies, ne sont au fond, tu le vois, ma sœur, qu'une juste critique de cet absurde système et que le pressentiment des vérités découvertes depuis.

Ce fut vers le milieu du seizième siècle que parut l'ouvrage dans lequel Copernic, si l'on ose s'exprimer ainsi, remettait chacun à sa place ; il l'avait dédié au pape Paul III, afin, disait-il, de se garantir des morsures de la calomnie.

« Copernic fit naître les beaux jours de l'astronomie par l'explication heureuse des phénomènes célestes, au moyen des mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil. Choqué de l'extrême complication du système de Ptolémée, il chercha dans les anciens philosophes une disposition plus simple de l'univers ; il reconnut

que plusieurs d'entre eux avaient mis Vénus et Mercure en mouvement autour du Soleil; que Nicétas, au rapport de Cicéron, faisait tourner la Terre sur son axe, et, par ce moyen, affranchissait la sphère céleste de l'inconcevable vitesse qu'il fallait lui supposer pour accomplir sa révolution diurne. Aristote et Plutarque lui apprirent que les pythagoriciens faisaient mouvoir la Terre et les planètes autour du Soleil, qu'ils plaçaient au centre du monde.

« Ces idées lumineuses le frappèrent; il les appliqua aux observations astronomiques que le temps avait multipliées, et il eut la satisfaction de les voir se plier sans effort à la théorie du mouvement de la Terre. La révolution diurne du ciel ne fut plus qu'une illusion due à la rotation de la Terre, et la précession des équinoxes se réduisit à un léger mouvement dans l'axe terrestre. — Copernic publia ce système dans son ouvrage *Des révolutions célestes.* Pour ne pas révolter les préjugés reçus, il le présente comme une hypothèse. « Les astronomes, dit-il dans sa dédicace au pape Paul III, s'étant permis d'imaginer des cercles pour expliquer le mouvement des astres, j'ai cru pouvoir également examiner si la supposition du mouvement de la Terre rend plus exacte et plus simple la théorie de ces mouvements (1). »

(1) Laplace, *Exposition du Système du Monde.*

Remarque, ma sœur, que ces mêmes sources où Copernic était allé puiser la connaissance de la vérité avaient été ouvertes à Ptolémée; mais ce dernier avait voulu avant tout fonder un système, et, pour le rendre populaire, le faire concorder avec les préjugés de son temps; Copernic, au contraire, beaucoup plus véritablement philosophe, (c'est-à-dire ami de la sagesse et de la vérité) que le philosophe égyptien, avait commencé par s'enquérir des découvertes de l'antiquité, et il avait joint à cette étude l'observation. On montre encore à Allenstein la maison habitée jadis par Copernic, et les ouvertures qu'il y avait fait pratiquer pour observer le passage des astres au méridien. A Frauenbourg, on montre de même la tour où il faisait ses observations; c'est là que fut trouvée la règle parallactique fabriquée par Copernic lui-même; Tycho-Brahé, à qui son élève Élie Olaüs, envoyé à cet observatoire pour mesurer la hauteur du pôle, l'apporta quelques années après la mort de Copernic, conserva précieusement et avec vénération ce souvenir d'un grand homme.

Vers la fin de ce même siècle et au commencement du siècle suivant, Galilée et Kepler, zélés partisans du nouveau système, se placèrent en première ligne parmi ses plus ardents défenseurs. « Un heureux hasard venait de faire trouver le plus merveilleux instrument que l'industrie humaine ait découvert et qui, en donnant

aux observations astronomiques une étendue et une précision inespérées, a fait apercevoir dans les cieux des inégalités nouvelles et de nouveaux mondes. Galilée eut à peine connaissance des premiers essais sur le télescope, qu'il s'attacha à le perfectionner. En le dirigeant vers les astres, il découvrit les quatre satellites de Jupiter, qui lui montrèrent une nouvelle analogie de la Terre avec les planètes; il reconnut aussi les phases de Vénus, et dès lors il ne douta plus de son mouvement autour du Soleil. La voie lactée lui offrit un nombre infini de petites étoiles. — Les points lumineux qu'il aperçut au delà de la ligne qui sépare la partie éclairée de la partie obscure de la Lune lui firent connaître l'existence et la hauteur de ses montagnes. Enfin, il observa les taches et la rotation du Soleil, et les apparences singulières occasionnées par l'anneau de Saturne. En publiant ces découvertes, il fit voir qu'elles démontraient le mouvement de la Terre (1). »

Je ne sais, ma sœur, si tu éprouves le même plaisir que moi à suivre pas à pas ces progrès de l'esprit humain vers la découverte de la vérité; mais, du moins, j'espère que ta juste curiosité de connaître le *comment* de ces découvertes commence à se trouver satisfaite, et que plus tu avances dans la lecture de ces cahiers plus tu te sens excitée à poursuivre. Nous reviendrons

(1) Laplace, *Système du Monde*.

quand il le faudra sur ce que je me borne à indiquer ici par quelques citations empruntées surtout à l'immortel Laplace.

Nous voici arrivés à une bien grande distance de l'époque où les prêtres et les mages de l'Orient croyaient devoir envelopper des voiles de l'allégorie les notions déjà acquises sur *la mécanique céleste*, dans laquelle il n'y a rien de mécanique au fond. Mais le temps n'était pas encore venu pour l'homme de mettre, avec fermeté et constance, l'observation à la place de l'imagination; le vaste champ des hypothèses, toujours ouvert, le séduisait beaucoup plus encore que la réalité, et parfois ceux qui s'y lançaient de toute leur puissance intellectuelle y moissonnaient, au milieu de beaucoup d'erreurs, quelques grandes vérités ; c'est ce qui est arrivé à Descartes, le célèbre auteur des tourbillons, lorsqu'il a proclamé que *la nature a horreur du vide*.

Novateur avant tout et doué d'un génie aventureux, il devait s'éloigner des routes battues et prétendre aussi à donner un système du monde; système qui n'a pas été plus heureux que celui de Ptolémée,, parce que ce système avait de même, pour point de départ, une hypothèse fausse. Voici de quelle manière Descartes explique les mouvements des corps célestes.

Il suppose que le Soleil est placé au milieu d'un immense tourbillon de matière subtile, qui

s'étend de beaucoup au delà des limites du système solaire. Les planètes, plongées dans ce tourbillon, se trouvent entraînées par le mouvement circulatoire et tourbillonnant, et décrivent ainsi leurs orbites autour du Soleil. Celles de ces planètes qui ont des satellites sont, à leur tour, le point central d'autres petits tourbillons emportés par le grand tourbillon solaire; et autour de ces points, centres de petits tourbillons, tourbillonnent, à la façon des planètes autour du Soleil, les autres corps plus petits, tels que les satellites. A ce tourbillonnement circulatoire, il faut en ajouter un autre, celui qui naît du mouvement de rotation du Soleil, des planètes, des satellites, d'où résulte pour le milieu, c'est-à-dire pour le fluide dans lequel ces tourbillons ont lieu, un mouvement perpétuel de circulation, de rotation rapide, fruit de la double révolution des corps célestes; en un mot, quelque chose de si tourbillonnant que l'esprit lui-même en tourbillonne.

Ce que tu remarqueras, je pense, ma chère Laure, dans ce système des tourbillons, c'est que, d'une part, voilà brisés à jamais les cieux de cristal de Ptolémée; c'est que, d'autre part, le double mouvement des astres errants commence à devenir une idée *vulgaire,* pour ainsi dire; et c'est enfin que ces tourbillons n'ont pu sortir que d'une imagination vive et puissante. Ce n'est au fond qu'un roman, qu'un poëme, si tu

le préfères ; mais il n'a pas été donné à tous d'en faire un de ce genre, et je place de beaucoup au-dessus des cieux solides de Ptolémée les tourbillons de René Descartes.

Pendant que Galilée était appelé en Italie à répondre devant l'Inquisition au sujet de cette proposition hardie: *la Terre se meut,* qui lui était imputée à crime, dans le nord de l'Europe paraissait Tycho-Brahé. « Son goût pour l'astronomie se manifesta dès l'âge de quatorze ans à propos d'une éclipse arrivée en 1560 — Le phénomène lui inspira le plus vif désir d'en connaître les principes—Il voyagea beaucoup, et, au retour, son souverain, Frédéric, roi de Norwége, lui donna la petite île de Huène, à l'entrée de la mer Baltique. Tycho y fit bâtir un observatoire célèbre sous le nom d'*Uranienbourg*—De nouveaux instruments inventés, et des perfectionnements nouveaux apportés aux anciens, une précision beaucoup plus grande dans les observations, un catalogue d'étoiles fort supérieur à ceux d'Hipparque et d'Ulag-Beigh, la découverte de l'inégalité de la Lune qu'il nomma *variations*.... enfin des observations très-nombreuses des planètes qui ont servi de bases aux lois de Kepler, tels sont les principaux services que Tycho-Brahé a rendus à l'astronomie.

« Quoique grand observateur, Tycho ne fut pas heureux dans les recherches des causes; son esprit peu philosophique fut même imbu

des préjugés de l'astrologie judiciaire qu'il a essayé de défendre. » (Laplace.)

Tu vas te récrier, sans nul doute, ma sœur, en lisant ce passage. Hélas! ma Laurette, c'est que toujours et partout, chez l'homme le plus instruit, chez l'homme le plus supérieur, *il y a de l'hommerie*, comme dit Montaigne, c'est-à-dire un côté faible, un point par lequel le plus beau génie même, paye son tribut à la misère humaine!

« Dans les dernières années de sa vie Tycho-Brahé eut pour disciple et pour aide Kepler, né en 1771 à Weil, dans le duché de Wurtemberg. C'était l'un de ces hommes rares que la nature donne de temps en temps aux sciences pour en faire éclore les grandes théories préparées par les travaux de plusieurs siècles. » (Laplace.)

Son génie et des études assidues firent faire à Kepler des découvertes dont on ne trouve aucune trace dans les annales de l'antiquité.

Dès l'année 1596, Kepler ayant publié un grand ouvrage sur les proportions et les dimensions des orbites des planètes, il reçut de Tycho-Brahé, entre les mains duquel cet ouvrage était parvenu, le conseil de s'appliquer à l'observation avant que de prétendre à découvrir les lois de la nature; Tycho lui promettait que, par cette méthode, il arriverait sûrement à trouver plus de vérités que n'en avait découvert Copernic. Tycho-Brahé eut donc la gloire

d'avoir deviné le génie de Kepler, et désira vivement de se l'attacher comme disciple.

Dans le prochain cahier, ma Laurette, tu trouveras l'*histoire* de Kepler comme homme; histoire douloureuse et qui fait faire les réflexions les plus amères sur le prix auquel se paye l'immortalité, sur la misère qui souvent accompagne ici-bas le génie, et dont le génie se distrait par l'étude; puis tu le verras marcher progressivement vers la connaissance des plus belles vérités. Nous reviendrons aussi sur l'histoire de Galilée, et sur la découverte si importante de la lunette. Il me semble que toutes ces choses sont faites pour t'intéresser au plus haut point et pour t'amener à reconnaître que les enseignements de l'astronomie ne sont point des chimères, et qu'il n'existe pas de science dans laquelle l'homme ait fait preuve, à un degré plus élevé, de la puissance intellectuelle qu'il a reçue du Créateur!

CINQUIÈME CAHIER.

KEPLER. — GALILÉE.

Le père de Kepler était un pauvre aubergiste, ruiné par des revers de fortune. L'enfant, envoyé à l'école au couvent de Maulbroun, devint bientôt orphelin. La misère l'avait accueilli au berceau; la misère devint la fidèle compagne de toute sa vie. Kepler, qui se destinait à la carrière théologique, se rendit à l'université de Tubingue; mais il fallait vivre, et quoique

ses études principales n'eussent pas eu pour objet les mathématiques, il dut cependant accepter la place de professeur de mathématiques à Grætz, avec la ferme volonté de travailler et de perfectionner ses études. De cette époque date le commencement de ses recherches astronomiques; peu d'années après, l'ouvrage qu'il venait de publier le mit en relation avec Tycho-Brahé pour qui il professait le plus profond respect. Ce savant, de son côté, comme je te l'ai déjà dit, ma Laurette, rendait complète justice au génie de Kepler tout en cherchant à modérer l'élan de son imagination. Tycho, qui était tombé en disgrace, car rien de plus incertain, rien de plus inconstant que la faveur, pour l'homme surtout que des occupations sérieuses empêchent d'être à tout instant courtisan, se rendit d'Uranienbourg à Prague. C'est dans cette ville que Kepler alla le rejoindre et qu'il obtint, par la protection de Tycho, le titre purement honorifique de mathématicien impérial. Des appointements très-faibles étaient attachés à ce titre, mais ils ne furent jamais payés. Les sciences ne sont ni honorées, ni rétribuées dans les temps de troubles, et Kepler vivait au milieu de ceux qui préparèrent la guerre de Trente ans.

Onze années s'écoulèrent dans la plus grande détresse pour Kepler, détresse adoucie par l'étude, mais qui devint telle enfin, qu'il fallut

quitter Prague et accepter la place de professeur de mathématiques à Linz, où quinze autres années de misère passèrent encore sans que rien pût faire prévoir un meilleur avenir. Kepler, fatigué de cette lutte sans relâche contre tous les besoins, accepta une place que lui offrit dans sa maison un bourgeois de la ville d'Ulm; ce bourgeois manqua de même à ses engagements, et, au bout de trois ans, Kepler crut enfin entrer au port, en se trouvant attaché à Wallenstein. Mais ce grand capitaine, qui ne faisait pas le moindre cas de l'astronomie, était, en revanche, partisan zélé de l'astrologie. Kepler croyait aussi à l'astrologie et la pratiquait dans de certaines limites; cependant l'astronome commençait à l'emporter sur l'astrologue. Wallenstein et Kepler ne purent s'entendre, et le premier se débarrassa honnêtement du second en le faisant nommer professeur à l'université de Rostock. Cette université ne paya pas plus Kepler que ne l'avaient payé l'empereur, la ville de Linz et le bourgeois de la ville d'Ulm. Réveillé à la fin par tant de souffrances et d'injustices, Kepler se mit en route pour aller demander à la diète de Ratisbonne la rétribution bien due à ses travaux dans le professorat. A peine arrivé à Ratisbonne, il succomba sous le poids de la fatigue et du chagrin.

Voilà, ma Laurette, comment a vécu Kepler; Kepler, dont le nom passera à la postérité la

plus reculée ; Kepler, dont le génie a opéré, dans l'astronomie, l'une des plus grandes révolutions ; Kepler, révéré par Newton lui-même, le plus beau génie des temps modernes ! Le cœur se serre lorsqu'on songe que ce grand homme a connu les horreurs du besoin !

Dans sa jeunesse, Kepler, doué d'une imagination ardente, avait partagé la folie de l'époque qui consistait à mêler les choses sacrées aux travaux de la science ; il avait partagé aussi cette autre folie du même temps, celle de l'astrologie judiciaire. Il dit, dans son ouvrage des *Mystères cosmographiques*, que trois grands sujets lui paraissent dignes de toute son attention : le firmament où brillent les étoiles fixes, le Soleil et la distance incommensurable qui sépare les étoiles fixes et le Soleil ; ces trois choses sont pour lui le symbole de la Trinité, et la forme sphérique de l'univers, qui renferme le tout, est l'image de l'Être suprême dont l'immensité embrasse toute chose. Dans un autre ouvrage, *De stellâ novâ*, Kepler affirme que les grandes révolutions du globe, que les événements majeurs ont une connexion intime avec les conjonctions des planètes, et il rend compte de leur influence par la comparaison suivante : « Les étoiles agissent sur les choses terrestres de la même manière que la lumière agit sur notre œil, le son sur notre oreille, le froid ou le chaud sur le corps organisé. »

Je t'ai cité ces deux passages, ma sœur, pour te montrer que Tycho-Brahé avait eu raison d'engager Kepler à se défier de son imagination, et qu'il a rendu un service immense à la science en le ramenant à l'observation.

L'esprit inquiet de Kepler le portait à tout examiner, à tout calculer, à vouloir se rendre compte de tout; cette activité sans relâche et la puissance de son intelligence le conduisirent à de grandes choses.

Dans le véritable système du monde rétabli par Copernic, l'astronome ne trouve pas sur notre globe, qui obéit au double mouvement de rotation et de translation, une position stable; il est obligé de se transporter par la pensée au centre du Soleil, et c'est de ce point, accessible à l'imagination seulement, qu'il observe le mouvement des corps célestes. Il ne faut pas crier à l'impossible, ma sœur; tu vas voir que l'observatoire est fort bien choisi, puisque, de là, Kepler, contemplant à son tour le spectacle des cieux, découvrit, avec le secours des observations de Tycho-Brahé et à l'aide de ses propres observations, la fausseté de la théorie généralement adoptée alors et regardée comme infaillible, qui soumettait les planètes à décrire, d'un mouvement *uniforme*, une ligne *circulaire* autour de leur centre commun.

Ne crains pas que je cherche à te lancer jusqu'à l'observatoire de Kepler; mais consens à

réfléchir un moment sur ce qu'ont pu t'apprendre tes livres élémentaires de la forme elliptique des orbites décrite par les planètes, et tu vas reconnaître toi-même tout à l'heure que tu *sais* d'où vient que cette forme est *elliptique*, et que le mouvement de translation des planètes n'est pas *uniforme*.

Pourquoi cette forme *elliptique?* Parce que les planètes, si elles décrivaient un orbe *circulaire*, se trouveraient toujours *à la même* distance du Soleil; ce qui n'est pas: elles s'en trouvent plus ou moins éloignées, suivant le point de leur orbite où elles sont arrivées dans leur marche autour du Soleil, tu le sais, c'est-à-dire, suivant qu'elles sont en conjonction ou en opposition; en outre, leur marche n'est pas *uniforme*, tu le sais encore, puisqu'elles ne parcourent pas avec la même vitesse tous les points de leur orbite.

Kepler fut aussi le premier à reconnaître que tout mouvement a naturellement lieu en ligne droite, et que, lorsqu'un corps décrit une ligne circulaire ou toute autre courbe, c'est qu'il est soumis à l'action de deux forces, dont l'une l'a mis en mouvement, et dont l'autre force agit en sens opposé et change sa direction. Partant de ce principe et s'appuyant sur des calculs aussi ardus que nombreux, il prouva que la planète, celle de Mars, par exemple, dont il s'était particulièrement occupé, décrit des or-

bes elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers, et qu'une ligne tirée du centre de la planète au centre du Soleil décrirait, en supposant qu'elle se mût avec la planète, des aires égales en temps égaux. L'expression propre de cette loi est, tu dois t'en souvenir : *des aires proportionnelles au temps.* « Kepler étendit ces résultats à toutes les planètes, et il publia en 1626, d'après cette théorie, des tables Rudolphines, à jamais mémorables en astronomie, comme étant les premières fondées sur les véritables lois des mouvements planétaires. » (Laplace.)

Sais-tu, ma Laurette, ce que coûta à Kepler cette admirable découverte ?... *Dix-sept années* de tâtonnements! Dix-sept années de recherches, d'observations, de réflexions, de calculs immenses !... Comprends-tu maintenant qu'il ait pu souvent *oublier* que ses appointements n'étaient pas payés et qu'il avait faim ? Comprends-tu qu'en présence de ces belles vérités, qui lui apparaissaient au loin dans l'espace, son âme de feu, sa tête ardente aient plus d'une fois perdu le sentiment de la misère qui l'enveloppait de toute part!

La loi des *aires proportionnelles au temps* solidement établie, d'autres considérations non moins importantes se présentèrent à l'esprit de Kepler. Il conçut heureusement la pensée qu'il devait y avoir des relations établies entre la du-

rée des révolutions des planètes et leur distance au Soleil, et le résultat de ses recherches fut de lui prouver qu'en effet ces relations existent... Je m'arrête ici, parce que je me souviens qu'en me demandant mes cahiers, tu m'as signifié que partout où t'apparaîtrait quelque chose de ressemblant à des mathématiques, tu passerais impitoyablement à la page suivante. Il est donc inutile que je cherche à te *démontrer* comment cette autre loi de Kepler, que le carré des temps dans les quels deux planètes achèvent leurs révolutions dans leurs orbites est proportionnel aux cubes de leur distance moyenne au Soleil, est aussi admirablement vraie que la loi précédente.

Vois maintenant ce même homme, d'un génie si admirable lorsqu'il demande à l'observation les secrets de la nature, se laissant emporter par son imagination! Le voilà qui suppose que les étoiles sont les *habitants* de l'Ether; que ces habitants se meuvent dans cet élément comme les papillons dans l'air; le voilà qui les compare aux plantes, aux animaux qui sortent du sein de la terre pour l'embellir pendant leur existence et pour la féconder de leurs débris lorsque l'heure de leur destruction est venue! Et ainsi l'imagination de Kepler place les rêves les plus extravagants en regard des vérités les plus sublimes! Mais ces rêves, remarque-le, ma sœur, ne peuvent être que le produit d'une

organisation forte et puissante, toujours agissante et dont l'activité créatrice fait parfois jaillir des éclairs qui illuminent tout.

C'est ainsi que brille, au milieu du chaos des plus folles rêveries, cette hypothèse remarquable que la densité des planètes doit être en rapport avec leurs distances au soleil. Kepler conçoit la pensée que les corps les plus denses, ou, si tu l'aimes mieux, les plus compactes de notre système planétaire, doivent être ceux qui se trouvent *le plus près* du Soleil. Afin de rendre cette pensée sensible et familière à tous, il s'exprime ainsi : La densité de Saturne peut être comparée à celle du diamant; celle de Mars à la densité du fer; celle de la Terre à la densité de l'argent; celle de Vénus à la densité du plomb; celle de Mercure à la densité du vif-argent ou mercure; et enfin celle du Soleil à la densité de l'or, qui est la plus pesante, d'une pesanteur spécifique, de toutes les susbtances connues jusqu'à ce jour (le platine excepté). Cette hypothèse diffère peu de ce que l'observation a fait, depuis, reconnaître, si ce n'est cependant en ce qui touche la densité du Soleil. Kepler a donc devancé, par une heureuse conjecture, l'époque où l'homme a osé *peser* les corps célestes et estimer avec exactitude leurs différentes densités.

Il était réservé à Newton de donner au monde la connaissance du principe d'où dé-

rivent les lois du mouvement des corps célestes découvertes par Kepler; mais, au milieu de nombreux écarts, Kepler fut cependant conduit à des vues saines sur la gravitation universelle. Dans son introduction *De stellâ Martis*, il dit : « La gravité n'est qu'une affection corporelle et mutuelle des corps, par laquelle ils tendent à s'unir.

« La pesanteur n'est point dirigée vers le centre du monde, mais vers celui du *corps rond* dont ils font partie, et si la Terre n'était point *sphérique*, les graves placés sur différents points de sa surface ne tomberaient pas vers un même centre.

« Deux corps isolés se porteraient l'un vers l'autre comme deux aimants, en parcourant, pour se rejoindre, des espaces réciproques à leurs masses. Si la terre et la lune n'étaient pas retenues à la distance qui les sépare par une force animale ou par quelque autre force équivalente, elles tomberaient l'une sur l'autre, la Lune faisant les cinquante-trois cinquante-quatrièmes du chemin, en les supposant également denses.

« Si la Terre cessait d'attirer les eaux de l'Océan, elles se porteraient sur la Lune en vertu de la force attractive de cet astre.

« Cette force qui s'étend jusqu'à la Terre y produit les phénomènes du flux et du reflux de la mer. »

« Ainsi, ajoute Laplace, l'important ouvrage que nous venons de citer, contient les premiers germes de la mécanique céleste que Newton et ses successeurs ont si heureusement développés.

« On doit être étonné que Kepler n'ait pas appliqué aux comètes les lois du mouvement elliptique. Mais, égaré par une imagination ardente, il laissa échapper le fil de l'analogie qui devait le conduire à cette grande découverte. »

Je n'ai pas craint, ma Laurette, de citer ce passage dans son entier, parce que je te crois capable de le comprendre, ensuite parce que c'est une belle introduction aux découvertes de Newton, et enfin parce que c'est un hommage rendu à celui dont le génie devança son époque, et que les erreurs d'une pensée active ne peuvent dépouiller de sa gloire.

Ce fou sublime (car il passe pour fou aux yeux du monde, celui qui sacrifie à la recherche de la vérité les intérêts de la vie matérielle) mourut dans la misère, comme je te l'ai dit déjà, après avoir vécu dans la misère avec la femme qu'il avait associée à son sort, et ses enfants. Il leur laissa, pour héritage, son nom et cette gloire immortelle dont l'éclat a grandi de siècle en siècle; mais il leur laissa aussi la misère; et, dans la misère et l'obscurité, se seront éteints la compagne et les descendants d'un grand homme; car l'histoire ne nous apprend pas ce

que devinrent les fils de Kepler. J'entends d'ici mon père s'écrier, si tu lui lis ce cahier: *vanitas vanitatum! omnia vanitas!* Hélas! oui! Et cependant où trouver quelque chose de véritablement grand sur cette terre, si ce n'est dans l'oubli de la vie matérielle pour la vie intellectuelle; pour cet exercice des plus nobles facultés de l'homme! Ptolémée, Descartes ont dû songer avant tout à leur gloire, alors qu'ils ont eu la prétention de *créer* un système du monde; et c'est à leur sujet qu'on pourrait répéter le *vanitas vanitatum* du prophète; mais Kepler a-t-il songé à la sienne, lorsque, entraîné par la passion du savoir, par la passion de la vérité, il a cherché à pénétrer le secret des mouvements des corps célestes?

Pendant qu'en Allemagne il travaillait à tracer l'orbe des planètes et à découvrir les lois qui régissent leurs mouvements, Galilée, en Italie, annonçait déjà ce qu'il serait un jour. Fils d'un noble Florentin, Galilée avait été de bonne heure initié à l'étude des mathématiques; dès le jeune âge il avait montré un goût prononcé pour la mécanique et un esprit d'observation des plus rares. A lui est due la découverte des propriétés du pendule. Il avait dix-neuf ans à peine, lorsqu'un jour il remarqua les oscillations d'une lampe suspendue à l'intérieur du dôme de Pise, sa patrie. Personne n'avait pris garde à ce qui le jeta dans une profonde méditation. Il crut voir

que ces oscillations avaient lieu dans le même temps, quelle que fût leur amplitude ou leur étendue ; ceci était une erreur. D'ailleurs, comme l'a fait observer avec tant de justesse M. Arago, Galilée n'avait alors aucun moyen de s'assurer de la mesure du temps dans lequel ces oscillations avaient lieu, puisque c'étaient ces oscillations mêmes qui devaient donner cette mesure. L'honneur de la théorie et de l'application du pendule aux horloges appartient à Huygens ; Galilée eut seulement la gloire d'une observation qui a produit de si beaux résultats.

Le premier, Galilée prouva que le *poids des corps* n'est pas ce qui décide leur chute vers la terre; que cette chute et la rapidité accélérée du corps, quel qu'il soit, à mesure que, tombant librement, il approche de la terre, sont le résultat de l'action exercée par l'attraction terrestre, et que cette action est soumise à des lois positives; ainsi, par exemple, un corps qui tombe vers la terre parcourt 15 pieds dans la première seconde, trois fois 15 pieds dans la seconde suivante, cinq fois 15 pieds dans la troisième seconde, ainsi de suite ; tu dois t'en souvenir.

Je ne te parlerai pas de tout ce que la physique et la mécanique doivent à Galilée, parce que mon intention est d'arrêter ta pensée, avant tout, sur les découvertes qui ont pour objet l'astronomie, et nous arriverons de suite à l'usage qu'il fit du télescope, de cet instru-

ment sans le secours duquel les mystères du firmament nous seraient restés inconnus : ce fut Galilée qui en agrandit l'usage ; mais Kepler aussi a droit à la reconnaissance des astronomes, car « ses ouvrages sur l'optique sont pleins de choses neuves et intéressantes. Il y perfectionne le télescope et sa théorie, il y explique le phénomène de la vision, inconnu avant lui. » (Laplace.)

Les savants savent cela, mais le vulgaire ignore jusqu'au nom de Kepler, et celui de Galilée est dans toutes les bouches.

Ce fut seulement vers l'année 1609 que le hasard, dit-on, fit découvrir les singulières propriétés de deux verres grossissants, placés l'un devant l'autre, à une certaine distance.

Dans la ville d'Alkmaer, en Hollande, vivait un opticien, Zacharie Jansen, qui travaillait à la fabrication de miroirs et de verres ardents, connus aujourd'hui sous le nom de lentilles ; ceux de ces verres qu'il ne trouvait pas assez parfaits étaient jetés de côté. Un des enfants de Jansen, qui jouait dans la boutique où était l'établi de son père, eut l'idée de placer l'un devant l'autre deux de ces verres dont il tenait un de chaque main, et de les rapprocher ou de les éloigner tour à tour, suivant son caprice, et en prenant pour point de mire le coq d'argent qui tournait en girouette sur le clocher de la cathédrale. Soudain il jette un cri d'étonnement ; le coq est là,

tout près, et bien plus grand qu'il ne l'était tout à l'heure. L'enfant répète son expérience, et, par ses exclamations, il excite enfin la curiosité de Jansen. L'opticien regarde à son tour à travers les deux verres : frappé du résultat qu'il obtient, il fait quelques essais afin de s'assurer de la distance à laquelle devaient être placés les deux verres pour produire le plus d'effet possible. Bientôt il imagine de les adapter à des tuyaux qui permettent de les éloigner et de les rapprocher à volonté, et la lunette est trouvée.

Le bruit tarda peu à se répandre qu'un opticien hollandais avait construit une lunette d'*approche*, au moyen de laquelle on faisait paraître *tout proche* les objets éloignés.

A peine cette nouvelle est-elle parvenue à Pise, que Galilée, mis sur la voie, construit à son tour une *lunette d'approche* qui, entre ses mains, tarde peu à se perfectionner, et l'instrument reçoit le nom de *lunette de Galilée* ou de *Hollande*.

Et Kepler ? diras-tu sans doute, ma sœur, car je crois que tu te sens de l'affection pour ce grand homme ?

Il *trouva*, sans doute, de son côté, la lunette d'approche puisque la *lunette de Kepler* est connue dans le monde savant ; mais elle fit moins de bruit que celle de Galilée. C'est que Galilée était placé de manière à attirer les yeux sur lui.

Appelé comme professeur de mathématiques à Padoue, par le sénat de Venise, il voyait accourir à ses cours, des contrées les plus reculées de l'Europe, une foule d'auditeurs, au nombre desquels se trouva, dit-on, Gustave Adolphe.

Métius ayant présenté la première lunette d'approche aux états généraux de Hollande, Galilée fut bientôt en mesure de faire l'application du nouvel instrument à l'observation des astres.

La lunette d'approche n'avait donné d'abord qu'un grossissement de huit fois ; quand elle fut arrivée au point de donner un grossissement de trente fois, ce qui est le terme de la perfection à laquelle, jusqu'à présent, ait pu parvenir ce genre de télescope, l'observation des corps célestes présenta de nouvelles merveilles aux yeux des astronomes surtout, plus habitués *à voir* que les yeux du vulgaire. La Lune cessa d'apparaître comme un disque plat et uni ; sur ce disque, se dessinèrent des aspérités et des cavités qui ressemblaient beaucoup à des montagnes et à des vallées. Le Soleil, jusqu'alors considéré comme un globe de feu complétement brûlant, montra quelques parties obscurcies par des taches répandues çà et là sur sa surface. Dans la seule constellation d'Orion, Galilée découvrit et compta cinq cents nouvelles étoiles, et il devina qu'avec un instrument d'un pouvoir plus grand, la voie lactée laisserait voir autre chose

qu'une zone blanchâtre se dessinant sur l'azur du firmament.

Ce fut à Rome que Galilée reconnut le mouvement de rotation de Jupiter et découvrit ses quatre satellites; ce fut à Rome qu'il reconnut les phases de Vénus : chaque observation, chaque découverte venait prouver la vérité du système de Copernic, et conduire l'homme, comme par la main, à cette autre vérité, que la Terre est aussi une planète soumise à ces mêmes lois de rotation sur elle-même, et de translation autour du Soleil, qui régissent les mouvements de toutes les planètes.

Mais l'ignorance, le fanatisme et l'envie se déchaînèrent, et Galilée se vit contraint d'abjurer, comme étant d'abominables hérésies, les vérités proclamées par lui.

Il ne faut pas croire cependant, ma sœur, que Galilée fut aussi malheureux que le prétendent quelques historiens. La peine de l'emprisonnement perpétuel dans les prisons du Saint-Office, à laquelle il avait été condamné, fut commuée, par le pape Urbain VIII, en celle d'une détention dans le palais de Florence, avec permission d'aller se promener dans les jardins de Rome, à la seule condition de ne traverser la ville qu'en voiture. Voici l'extrait d'une lettre de lui qui te donnera une juste idée du *sort* de cet homme célèbre :

« Après cinq mois de séjour à Rome, comme

la peste régnait à Florence, on m'a donné pour prison, le palais de mon meilleur ami, monseigneur Picolomini archevêque de Sienne. J'y ai joui d'une si grande tranquillité d'esprit, que j'ai repris mes études ordinaires et démontré une grande partie des propositions mécaniques sur la résistance des fluides... La peste ayant cessé à Florence, au commencement de décembre (1633), on me permit d'aller à la campagne. Je suis retourné à ma maison de Belvedère, et de là, à celle d'Arcestri, où je respire actuellement près de ma chère patrie. »

Matériellement parlant, Galilée fut moins à plaindre, quoiqu'il eût été persécuté, que Kepler; mais ceux qui sont dévorés de la passion du savoir et du besoin de répandre la vérité, reconnaîtront qu'il fut *moralement* beaucoup plus malheureux ; ceux-là comprendront que ces mots célèbres : *E si pur muove!* durent revenir mille et mille fois à sa pensée comme un regret amer et le tourmenter au sein même de la tranquillité dont il se vante; car cette vérité, il lui était défendu de la proclamer, et, ce qu'il y avait de plus affreux, il avait été forcé de l'*abjurer* alors que, pour lui, elle éclatait de toute part si pure et si certaine!

Quatre ans avant la mort de Galilée, un voile s'étendit sur sa vue et lui enleva les joies que lui avait données la contemplation des merveilles du firmament. Quoique aveugle, il ne cessa

pas de travailler jusqu'à l'âge de 78 ans, où il fut appelé, comme nous le serons un jour, à rendre compte à Dieu de l'usage qu'il avait fait des facultés de son intelligence.

SIXIÈME CAHIER.

NEWTON.

Tu m'écris, ma chère Laure, que, *jusqu'à présent*, tu as compris ce que contiennent mes cahiers, et tu me pries de continuer. Ceci m'est une preuve que tu lis avec attention et que tu t'intéresses réellement aux progrès de l'esprit humain avançant de siècle en siècle vers la vérité. Ainsi *encouragé*, je continuerai donc, puisque tu le désires, à te faire suivre pas à pas

l'histoire de ces belles découvertes dans l'espace céleste.

Nous voici maintenant arrivés à une époque à jamais illustrée par le génie de Newton; nous voici arrivés au moment où les *pressentiments* de Kepler sur la gravitation, ou attraction solaire et planétaire, ou pesanteur universelle, vont se trouver réalisés de la manière la plus large et la plus certaine.

Ce fut dans l'année même de la mort de Galilée, en 1642, que naquit Newton à Woolstroop, en Angleterre, le jour de Noël. « Ses premières études en mathématiques annoncèrent ce qu'il serait un jour : une lecture rapide des livres élémentaires lui suffit pour les entendre; il parcourut ensuite la géométrie de Descartes, l'optique de Kepler et l'arithmétique des infinis de Wallis; et s'élevant bientôt à des inventions nouvelles, il fut, avant l'âge de vingt-sept ans, en possession de son calcul des fluxions et de sa théorie de la lumière. Jaloux de son repos, et redoutant les querelles littéraires, qu'il eût évitées mieux en publiant plus tôt ses découvertes, il ne se pressa point de les mettre au jour. L'université, dont il était membre, le choisit pour son représentant dans le parlement de convention de 1688, et dans celui qui fut convoqué en 1701. Il fut nommé directeur de la Monnaie et créé chevalier par la reine Anne; élu, en 1705, président de la Société Royale de

Londres, il le fut sans interruption jusqu'à sa mort arrivée en 1727. Enfin, il jouit de la plus haute considération pendant sa longue vie, et sa nation, dont il avait fait la gloire, lui décerna les honneurs funèbres les plus distingués. » (Laplace.)

On peut dire, comme tu le vois, ma sœur, que Newton, *quoique* richement doté par la nature, devint, dès son jeune âge, le favori de la capricieuse fortune qui avait accablé Kepler de ses rigueurs et poursuivi Galilée dans sa noble carrière; ce fait est rare, et, par cela même, d'autant plus singulier; et ce qui est non moins singulier, c'est que la prospérité n'engourdit pas le génie de Newton.

Ce fut dans l'année 1666, loin de Cambridge, à la campagne, où il s'était retiré pour fuir cette ville dans laquelle la peste exerçait ses ravages, que ses méditations se portèrent sur le phénomène de la chute des corps, et sur la nature du mouvement en général.

Tout le monde sait, même les plus ignorants, qu'un corps abandonné à lui-même tombe sur le sol; mais si tu demandes, ma Laurette, à une foule de gens *pourquoi* ce corps tombe, on te prendra pour une sotte ou pour une folle; cette circonstance d'un corps qui tombe est tellement ordinaire que nul n'y prend garde, et surtout nul ne songe à s'inquiéter de ce *pourquoi*. Il en est de même du mouvement; et cependant, du

moment qu'il y a mouvement, il existe nécessairement une force qui le détermine; car un corps inerte, une pierre, une boule ne se mettront pas *en mouvement* de *leur propre mouvement;* mais cette force, quelle est-elle?

On croit généralement que c'est le *poids* des corps qui détermine leur chute, et quiconque regarde tout superficiellement, est fondé à en juger ainsi. Par exemple, tu ne doutes pas que ce ne soit le *poids* du plomb suspendu à un fil qui le fait tendre vers le sol; tu crois aussi que c'est le *poids* de la pierre que tu tiens dans ta main qui fait que, si tu la laisses aller, elle se précipite rapidement vers le sol; elle ne s'arrête sur le sol que parce que le sol lui fait obstacle. Tente l'expérience du haut d'une tour, au-dessus d'un puits ou d'un précipice, la pierre ne cessera de se précipiter que lorsqu'elle rencontrera ce même sol; et, si ce même sol était percé jusqu'au centre du globe, la pierre descendrait jusque là d'un mouvement accéléré. Ce phénomène se reproduit pour tous les corps, quelle que soit leur nature. Si l'air ne faisait pas obstacle à la plume que tu vois voltiger, elle arriverait aussi vite sur le sol, au fond du puits, au fond du précipice, au centre de la Terre, que la pierre, qu'un lingot de plomb, d'or ou de platine. L'expérience faite au moyen d'un tube *vide d'air,* et dans lequel sont enfermés des corps *réputés* lourds et des corps *réputés* légers, prouve, aussitôt qu'on

renverse ce tube bout pour bout, que tous ces corps tombent avec la même rapidité de la même hauteur dans le vide.

Ainsi donc il existe une force qui fait tendre tous les corps vers la Terre; cette force a reçu le nom de *centripète*, des deux mots CENTRUM PETO, *je tends vers le centre;* Kepler te l'a déjà dit; rappelle-toi ceci : « La pesanteur des corps n'est point dirigée vers le centre du monde, mais vers celui du corps *rond* dont ils font partie, et, si la Terre n'était point *sphérique*, les graves placés à sa surface, ne tomberaient pas vers ce même centre. » Ce mot de *graves* ne doit pas t'embarrasser; il doit seulement te rappeler celui de *gravité* ou principe inconnu, par lequel tous les corps sont attirés les uns vers les autres.

Les corps ayant cette tendance vers le centre de la Terre, il en résulte nécessairement que la pierre que tu tiens dans ta main, *pèse* sur ta main qui se trouve placée entre la pierre et le sol, et qui, par conséquent, fait obstacle à la tendance de la pierre, et la pierre te paraît *lourde*. Si tu poses cette pierre sur la table, la pierre *pèse* sur la table placée comme obstacle entre la pierre et le sol; ouvre la main, ou bien pousse la pierre qui est sur la table, la pierre se précipite aussitôt, tombe sur le sol et y demeure faute de pouvoir pénétrer plus loin; reprends la pierre, de même encore, elle te paraît lourde parce que tu es obligée de faire efforts

pour combattre la force centripète qui la retient à la surface du sol. Il en est ainsi du plomb suspendu à un fil; c'est sa tendance vers le centre de la Terre qui fait que le plomb tend le fil auquel tu l'as suspendu; que le fil ne soit pas suffisamment résistant, la tendance du plomb vers le cendre du globe l'emportera, le fil cassera et le plomb se précipitera vers la Terre.

Il n'y a qu'un seul point où cette tendance s'annule complétement; c'est le point central même du globe. Suppose un espace vide au centre de la Terre, et, dans cet espace, un lingot d'or. Ce corps également sollicité de tous les côtés par une même force attractive, n'éprouvera plus nulle tendance à tomber d'un côté ou de l'autre; il restera comme en *suspens,* sans être *suspendu* par rien de visible, dans cette cavité située au point central de la Terre. Ce corps a donc perdu ce que nous appelions son *poids* sur la surface du globe; ce poids n'était donc autre chose que la tendance du corps vers le centre du globe.

Supposons maintenant la Terre percée de part en part au moyen d'un large trou de sonde. Jette dans ce trou de sonde, par son orifice, ce même lingot d'or, que je suppose arrondi pour que ses aspérités ne préoccupent pas ta pensée. Le lingot d'or se précipite dans le trou de sonde aussitôt que ta main le laisse aller; plus il approche du point central, plus sa chute

s'accélère; sa vitesse enfin devient telle, qu'elle l'emporte sur la force attractive de ce point central; le lingot d'or le franchit, et, comme lancé par la puissance de cette vitesse acquise, il arrive à l'autre orifice; mais aussitôt la force centripète le rappelle, il revient vers le centre; à mesure qu'il en approche la vitesse de sa marche s'accélère; cette vitesse l'emporte de nouveau sur la force centripète et le *relance* vers le premier orifice; à peine arrivé, il repart, et ce mouvement de va et vient durera aussi longtemps que durera le globe lui-même.

Voilà, diras-tu, le mouvement perpétuel enfin trouvé! Il le *sera* aussitôt que l'homme aura pu forer ce trou de sonde qui doit traverser le globe de part en part et passer par son point central même.

Tu dois conclure, ma sœur, il me le semble du moins, de ce que tu viens de lire, que tous les corps placés à la surface du globe gravitent ou pèsent vers le centre du globe; que plus ils sont éloignés du centre, moins cette force *inconnue*. puisqu'on n'en peut expliquer la cause, a de puissance; que plus, au contraire, ils approchent du centre, plus cette force est puissante; il faut ajouter que plus un corps est dense, plus il attire en même temps qu'il est plus vivement attiré; ainsi, la pierre attire la Terre et est plus fortement attirée que la plume; la pierre étant plus dense que la plume même sous un très petit

volume, lutte en outre plus victorieusement contre l'obstacle que l'air oppose à sa chute, et arrive par conséquent plus rapidement à terre. C'est ce qu'exprime en peu de mots cette loi découverte par Newton, que *la gravitation agit en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances.*

Suivons maintenant Newton dans l'application qu'il fit, aux corps célestes, de la loi qui régit la chute des graves.

Il reconnut bientôt que la gravitation ou pesanteur, c'est tout un, ne s'exerce pas seulement du centre à la surface du globe; que cette force agit encore avec énergie à la hauteur la plus grande où il nous soit permis d'atteindre, et que, probablement, sa puissance s'étend jusqu'à la Lune; que c'est cette puissance qui retient notre satellite.

La conjecture était aussi heureuse que hardie, tu vas le reconnaître, ma sœur.

Tu sais déjà que tout corps inerte ne peut être mis en mouvement que par une force déterminante. Cette force agissant seule, le corps est lancé en ligne droite, et il suivra la ligne droite indéfiniment si, d'une part, aucun obstacle ne l'arrête dans sa marche, et si, d'autre part, une autre force agissant en sens opposé, ne vient pas le détourner et l'obliger de décrire une ligne courbe.

Nous pouvons donc supposer que la Lune,

au moment de la création, fut lancée en ligne droite dans l'espace avec une certaine vitesse de projection, et qu'elle aurait suivi cette ligne droite si, au moment où elle approchait de la Terre, l'effet de la gravitation ne l'avait fait tendre vers le centre de notre globe. Attirée en même temps qu'elle attire, mais dans une proportion telle que la force de projection peut lutter contre l'attraction terrestre, la Lune décrit une ligne courbe autour du globe.

Newton ne s'arrêta pas à cette conjecture. Il généralisa le problème, et, avec le secours des mathématiques, il trouva ce que Kepler avait reconnu avant lui par la simple observation, qu'un corps qui décrit une ligne courbe autour d'un point fixe en vertu d'une force partant de ce point, *décrit des aires égales dans des temps égaux*, ou bien *des aires proportionnelles aux temps*.

Quelques auteurs, sans vouloir dépouiller Newton de la gloire d'avoir découvert la gravitation ou pesanteur universelle, ont pris soin de rappeler que Timée de Locres, disciple de Pythagore, parlant de l'*âme* du monde qui met toute la nature en mouvement, dit que *Dieu l'a douée de deux forces, lesquelles sont combinées suivant certaines proportions numériques*. Plutarque a entrevu la *force réciproque* qui fait *graviter* les planètes les unes vers les autres, et il admet une attraction réciproque

entre tous les corps; attraction qui est cause que la terre fait graviter vers elle les corps terrestres, de même que le Soleil et la Lune font graviter vers leur centre toutes les parties qui leur appartiennent. Plutarque compare ensuite la Lune à une pierre qui, placée dans une fronde, se trouve soumise à la fois à deux forces opposées. Pythagore avait enseigné le premier la loi inverse du carré des distances; et, après Démocrite et Aristote, le poëte Lucrèce dit que la gravité des corps est proportionnelle à la quantité de matières dont ces corps sont composés, ce que Newton confirme par ces mots : *La gravitation agit en raison directe des masses.*

Tu es en état à présent, ma sœur, de lire et de comprendre l'analyse admirable, faite par Laplace, des travaux de Newton sur la gravitation universelle; la voici :

« La pesanteur des corps au sommet des plus hautes montagnes, à très-peu près la même que sur la surface de la Terre, lui fit conjecturer qu'elle s'étend jusqu'à la Lune, et qu'en se combinant avec le mouvement de projection de ce satellite, elle lui fait décrire une orbe elliptique autour de la Terre. Pour vérifier cette conjecture, il fallait connaître la loi de diminution de la pesanteur. Newton considère que si la pesanteur terrestre retient la Lune dans son orbite, les planètes doivent être retenues pareillement

dans leurs orbes par la pesanteur du Soleil, et il le démontre par la loi des aires proportionnelles aux temps. Or, il résulte du rapport constant trouvé par Kepler entre les carrés des temps des révolutions des planètes et les cubes des grands axes de leurs orbes, que leur force centrifuge, et par conséquent leur tendance vers le Soleil, diminue en raison de leur distance à cet astre. Newton transporta donc à la Terre cette loi de diminution de la pesanteur. En partant des expériences de Galilée sur la chute des graves, il détermina la hauteur dont la Lune, abandonnée à elle-même, descendrait vers la Terre dans un court espace de temps.

« Picard venait de mesurer un degré du méridien; Newton reconnut, au moyen de cette mesure, que la Lune était retenue dans son orbite par le seul pouvoir de cette gravité supposée réciproque au carré des distances. D'après cette loi, il trouva que la ligne décrite par les corps dans leur chute, est une ellipse dont le centre de la Terre occupe l'un des foyers; considérant ensuite ce que Kepler avait reconnu par l'observation, que les orbes des planètes sont pareillement des ellipses au foyer desquelles le centre d'attraction se trouve placé, il eut la satisfaction de voir que la solution qu'il avait entreprise, par curiosité, s'appliquait aux plus grands objets de la nature. »

Je m'arrête un moment, ma sœur, pour te

prier de réfléchir sur ce que tu viens de lire et pour te demander si tu n'admires pas comme moi la puissance de l'intelligence humaine!

« En considérant que les satellites se meuvent autour de leurs planètes, à fort peu près comme si ces planètes étaient immobiles, il reconnut que tous les corps obéissent à la même pesanteur vers le Soleil. L'égalité de l'action et de la réaction ne lui permit point de douter que le Soleil pèse vers les planètes et celles-ci vers leurs satellites; et même que la Terre est attirée par tous les corps qui pèsent sur elle. Il étendit ensuite cette propriété à toutes les parties de la matière, et il établit en principe que *chaque molécule attire toutes les autres à raison de la masse et réciproquement au carré de sa distance à la molécule attirée.* »

Fais bien attention à ceci, ma sœur! nous y reviendrons prochainement.

« L'égalité de l'action et de la réaction fait voir que le Soleil pèse à son tour vers les planètes proportionnellement à leurs masses divisées par le carré de leurs distances à cet astre. Les mouvements des satellites nous prouvent qu'ils pèsent à la fois vers le Soleil et leurs planètes qui pèsent réciproquement sur eux, de sorte qu'il existe entre tous les corps du système solaire une attraction continuelle, proportionnelle aux masses et réciproque au carré des distances. Enfin, leur figure sphérique

et les phénomènes de la pesanteur à la surface de la Terre, ne laissent aucun lieu de douter que cette attribution n'appartienne pas seulement à ces corps considérés en masse, mais qu'elle est propre à chacune de leurs molécules.

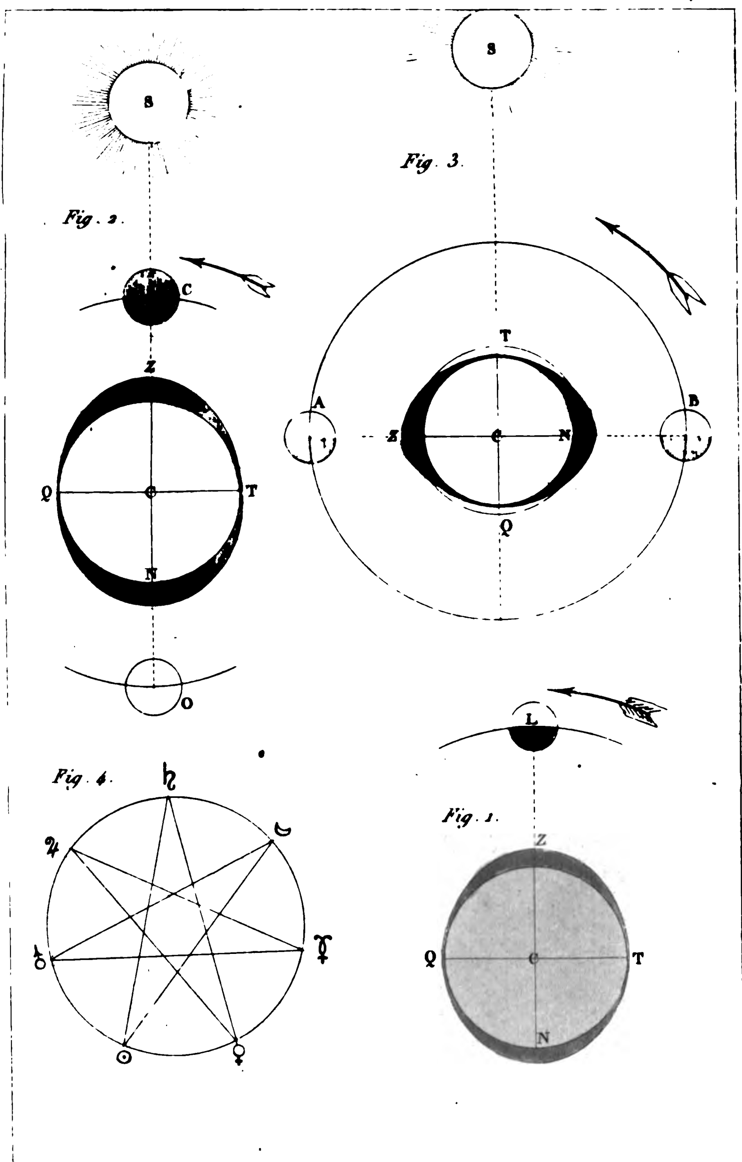
« Newton prouva que le mouvement de rotation de la Terre a dû l'aplatir à ses pôles...... Il vit que l'action du Soleil et de la Lune sur la sphéricité terrestre doit produire un mouvement angulaire dans son axe de rotation, faire rétrograder les équinoxes, soulever les eaux de l'Océan et entretenir, dans cette grande masse fluide, les oscillations qu'on y observe sous le nom de *flux et de reflux de la mer;* enfin il s'assura que les inégalités du mouvement de la Lune sont duès aux actions combinées du Soleil et de la Terre... Newton a parfaitement établi l'existence du principe qu'il a découvert; mais le développement de ses conséquences et de ses avantages a été l'ouvrage des successeurs de ce grand géomètre. »

SEPTIÈME CAHIER.

LES MARÉES.

Je t'ai entendu dire, ma sœur, que le phénomène des marées te paraissait être l'un de ceux que les livres élémentaires n'*expliquent pas du tout;* que tu n'as jamais compris comment la Lune attirant les eaux et les faisant monter sur le point du globe au méridien duquel elle se trouve, les antipodes de ce point ont également marée haute.

Le problème des marées étant l'*un des plus*



C. Montaut del. et sc.

Frault j^ne Imp. r. S. André des arts 37 Paris

épineux de toute la mécanique céleste, je n'entreprendrai pas de te l'expliquer dans ses détails; mais je te dirai, à toi, qui viens de te familiariser avec les lois de la pesanteur ou attraction, que les eaux situées immédiatement sous la Lune, au méridien, tendent à se détacher de la Terre, en même temps que la Terre tend à se détacher, par ce même effet de l'attraction lunaire, de la portion des eaux qui se trouve située au point diamétralement opposé à la Lune. C'est ce que cette figure (1), que tu connais, sans aucun doute, est destinée à rendre sensible.

Supposons, avec Newton, afin de faciliter la démonstration, la Terre entièrement couverte par les eaux. La Lune L passe au méridien de ce point Z, dont elle soulève les eaux par son action attractive; elle attire en même temps le point C ou centre de la Terre; elle attire encore le point n, et, dans ce point, la partie solide du globe tend à se détacher des eaux qui la recouvrent; il y a donc en n marée haute en *même temps* qu'il y a marée haute en Z. Les eaux ainsi soulevées *à la fois* dans les deux hémisphères diamétralement opposés, obéissent, tu le vois, à l'action de la Lune. Mais, en s'accumulant aux points Z et n, elles éprouvent nécessairement une dépression aux deux points Q et T, et, dans ces deux points opposés, il y a en *même temps* marée basse.

(1) Planche II.

La Lune étant beaucoup plus près de nous que le Soleil, exerce, quoiqu'elle soit *beaucoup* plus petite, une action bien plus sensible; mais l'action du Soleil n'en existe pas moins. Si elle s'ajoute à celle de la Lune, comme dans les nouvelles Lunes ou les pleines Lunes, c'est-à-dire lorsque la Lune est en conjonction ou en opposition avec le Soleil, nous avons les grandes marées ou marées syzygies. Dans la figure 2 que voici, le Soleil *S* et la nouvelle Lune *C* se trouvent ensemble au même méridien; le Soleil et la pleine Lune *O* s'y trouvent encore; dans ces deux cas la marée est haute ou syzygie; mais si la Lune est en quadrature, en *Q* ou en *T*, points dans lesquels elle se trouve éloignée du Soleil d'une distance égale à un angle de 90°, les marées sont faibles.

Elles le sont encore, quoique beaucoup moins, dans les premier et troisième quartiers. L'attraction solaire combat l'attraction lunaire, ainsi que te le montre la figure 3; elle diminue l'action de la Lune en A ou en B, et soulève les eaux en T et en Q; mais, comme tu peux le reconnaître, l'attraction solaire ne combat point, *à armes égales*, l'attraction lunaire; elle en diminue seulement l'effet, car les marées solaires en T et en Q n'en sont pas moins des marées basses. Ceci doit concourir encore à te prouver que l'attraction agit en raison inverse du carré des distances. C'est la proximité de la Lune qui augmente

son action sur les eaux de notre globe; c'est l'éloignement du Soleil qui diminue sa puissance attractive sur les eaux de notre globe.

Mais ces eaux ne recouvrent pas entièrement la croûte terrestre, comme l'a supposé Newton; mais le globe n'est pas immobile: il tourne sur lui-même, et autour du Soleil, en même temps que la Lune tourne autour de lui, et, avec lui, autour du Soleil; enfin, les eaux n'ont point partout la même profondeur; la position, la pente des rivages diffèrent.... N'aie pas peur, je n'essaierai pas d'entrer dans l'explication détaillée du phénomène des marées; seulement, je te ferai remarquer que les eaux de l'Océan éprouvent trois sortes d'oscillations : la première est indépendante de la rotation de la Terre, et tient peu de place dans le phénomène; la seconde dépend, au contraire, de la rotation de la Terre, et la troisième est le résultat des actions combinées du Soleil et de la Lune. C'est de cette troisième sorte d'oscillation que nous venons de nous occuper.

Tu comprends bien, ma Laurette, que la Lune ne se trouvant pas *toujours* à la même distance de la Terre, l'élévation des eaux, lors de son passage au méridien de tel ou tel lieu, n'est pas la même, suivant que la Lune est périgée ou apogée; pareillement, l'action de l'attraction solaire diminue en été où le Soleil est apogée, et augmente en hiver où il est périgée; enfin, les vents équinoxiaux contribuent à élever encore les grandes marées à une très-grande hauteur.

Les anciens connurent à peine ce phénomène aussi longtemps qu'ils ne quittèrent pas les côtes de la Méditerranée; mais lorsqu'ils commencèrent à se hasarder dans les mers des Indes et à visiter les bords de l'Océan, ils furent frappés de ce grand mouvement des eaux; peu à peu ils observèrent que les époques des marées hautes et des marées basses coïncidaient avec la position de la Lune dans le ciel, et Pline fut des premiers à leur assigner pour cause l'influence de la Lune et du Soleil.

« C'est quelque chose de vraiment étonnant que de voir, dans un temps calme et par un ciel serein, la vive agitation de cette grande masse fluide dont les flots viennent se briser avec impétuosité contre les rivages. Ce spectacle invite à la réflexion, et fait naître le désir d'en pénétrer la cause. (Laplace.) »

« L'oreille est alors frappée d'un bruit particulier et imposant, que l'homme ne peut entendre pour la première fois sans une profonde émotion. Lorsque la marée monte, comme lorsqu'elle descend, les eaux ne s'élèvent pas et ne s'abaissent pas d'une manière continue; il se fait une suite d'oscillations répétées, à chacune desquelles la mer semble se retirer et s'avancer; on appelle flux et reflux ce mouvement oscillatoire. C'est au choc de la vague contre le sol résistant qu'est dû en grande partie le bruit dont nous venons de parler; il s'y joint celui que font les

pierres amassées sur la plage, et que les eaux soulèvent continuellement, les frottant les unes contre les autres, et finissant par les arrondir. — Le flot, ou le flux, se fait sentir d'une manière remarquable jusqu'à une distance plus ou moins grande de l'embouchure de certains fleuves; une ou plusieurs vagues, qui se succèdent, remontent avec bruit contre le cours des eaux fluviales dont la marche est arrêtée. On connaît ce phénomène sous le nom de *Barre* à l'embouchure du Gange, du Sénégal, de la Seine, de l'Orne, etc.; sous celui de *Mascaret*, dans la Gironde, la Dordogne, la Garonne; et de *Pororoca*, sur les rives du fleuve des Amazones. Dans ce dernier lieu, comme dans la Garonne et même la Dordogne, les lames d'eau qui remontent le fleuve ont douze à quinze pieds de haut et même plus; elles renversent tous les obstacles sur leur passage, et le bruit effrayant qu'elles produisent, surtout dans les grandes marées, s'entend à plusieurs lieues. (Constant Prévost.) »

« Les marées qui sont dues à l'influence du Soleil et de la Lune ne dépendent point du mouvement de rotation de la Terre; ce ne sont que des perturbations de ce mouvement. — La mer s'élève et s'abaisse deux fois dans l'intervalle de deux passages consécutifs de la Lune au méridien. — Les plus hautes marées correspondent aux syzygies, c'est-à-dire aux époques où la Lune est soit en conjonction, soit en opposition avec

le Soleil ; les plus faibles arrivent dans les quadratures, et les marées ordinaires dans les positions intermédiaires. (M. Arago.) »

Vois-tu, ma sœur, comme tout devient admirablement clair ! Vois-tu s'avancer, obéissant à l'attraction lunaire, ce flot partout soulevé sur le passage de la Lune ! Ce même flot s'abaisse graduellement à mesure que la Lune s'éloigne du point où son action vient de se faire sentir !

« Les variations dans la hauteur des marées dépendent de plusieurs causes : de l'action concourante du Soleil et de la Lune, de la circonstance du périgée et de l'apogée de ces deux astres. L'effet n'arrive pas à l'instant même du passage au méridien ; il y a un intervalle de cinquante-deux minutes. (M. Arago.) »

Tu le comprends, ma sœur, si tu réfléchis que la force attractive doit vaincre, et la force d'inertie des eaux, et la pesanteur qui les attire vers le centre de la Terre.

« Les molécules d'une masse liquide sont attirées, comme si toutes ces molécules étaient réunies au même centre. Mais elles peuvent rencontrer dans leur marche des obstacles naturels qui les retardent dans leur afflux, et ensuite il faut tenir compte du mouvement de rotation de la Terre, dont la rapidité est telle que les points soumis à l'attraction lunaire se trouvent incessamment déplacés.

« Entre les plus faibles et les plus fortes marées,

il y a une différence de neuf pieds, les premières allant quelquefois jusqu'à dix-huit pieds. Elles s'élèvent dans le port de Saint-Malo à *cinquante pieds;* c'est le seul, avec celui de Bristol, où elles aient cette hauteur. (M. Arago.) »

Te figures-tu maintenant, ma Laurette, la puissance de la force attractive qui soulève, à une telle hauteur, une telle masse d'eau!

« Les déclinaisons des deux astres influent aussi sur les marées. Aux équinoxes, où la déclinaison est nulle, les marées sont les plus fortes; aux solstices, où la déclinaison est à son maximum, elles sont plus faibles. Entre celles des solstices et celles des équinoxes, il y a, dans le port de Brest, une différence de cinq pieds. L'heure de la marée est modifiée dans chaque port par diverses circonstances des localités, les courants, les fleuves et leurs embouchures, les sinuosités des côtes plus ou moins élevées. La réunion de ces diverses circonstances, qui concourent à accélérer ou à retarder l'heure de la marée, est ce qu'on appelle l'établissement du port.

« Une marée est un courant, un fleuve dont l'intermittence se manifeste en différents endroits, en différents temps, selon qu'il rencontre ou ne rencontre pas, dans sa marche, de grands ou de médiocres obstacles. Il faut quelquefois bien peu de chose pour produire de l'effet sur l'heure de la marée. Bouguer, professeur d'hydrographie au Croisic, rapporte qu'une jetée, qu'on

venait de construire dans ce port, avait pour effet de retarder d'un quart d'heure l'heure de la marée.

« Les marées d'hiver sont supérieures à celles de l'été, parce qu'en hiver la Terre est plus voisine du Soleil. — Les oscillations d'une masse liquide dépendent de l'action de l'astre sous le méridien duquel cette masse liquide passe. Ainsi la Lune et le Soleil ne passant pas toujours en même temps au méridien, l'action de l'un des deux astres contrarie l'effet de l'autre, et la marée lunaire se trouve moins haute de tout ce que la marée solaire a produit. C'est la Lune qui produit les marées prépondérantes. (M. Arago.) »

Je te prie, ma sœur, quand tu auras lu ce cahier, de le relire avec attention, et de rouvrir ensuite tes livres élémentaires. Je ne doute pas que maintenant tu ne comprennes ce qui t'avait paru être parfaitement inintelligible. Mais souviens-toi toujours qu'en astronomie, pas plus qu'en métaphysique ou bien en toute autre science, il n'y a point de *route royale* sur laquelle les *heureux de la terre* puissent rouler en chaise de poste, sans rencontrer aucun obstacle! Ici, chacun doit avancer pas à pas, en se servant de ses facultés intellectuelles et en les appliquant sérieusement à l'étude des découvertes faites par l'observation aidée de la réflexion et du raisonnement.

HUITIÈME CAHIER.

LA LONGITUDE.

Je te remercie, ma Laurette, d'avoir voulu me montrer que tu lis mes cahiers avec attention, par la remarque que tu m'adresses au sujet de l'action attractive du Soleil et de la Lune, qui doit occasionner, selon toi, dans l'atmosphère, des *marées aériennes*.

Oui, sans doute, la surface de l'atmosphère étant plus rapprochée de ces deux astres que la

surface terrestre, on ne peut mettre en doute que leur action ne s'y fasse sentir et ne soulève, sur leur passage, un *flot d'air*. Mais l'air *allégé* ou *soulevé* par l'attraction solaire, est soudainement remplacé par l'air des couches inférieures; la *pesanteur* reste donc la même; ce que montre la hauteur de la colonne barométrique, et le moyen de reconnaître l'existence de ces *marées aériennes* nous échappe. On peut donc les *supposer*, mais on ne peut les *prouver;* et elles nous demeurent insensibles. Tu as cru trouver cette preuve dans une observation que tu as faite souvent, me dis-tu; c'est que le vent s'élève à mesure que le soleil monte à l'horizon. Mais, d'abord, sais-tu ce que c'est que le vent? quelles sont les causes qui le produisent? — Je t'entends d'ici répondre *non*. Eh bien! attends, ma sœur, pour admettre, comme *preuve* des marées aériennes, l'élévation du vent, à mesure que le soleil monte à l'horizon, que nous ayons examiné ensemble la théorie des courants établis par différentes causes dans l'atmosphère.

Ne te récrie pas, je te prie, ma Laurette, si je te dis que, très-probablement, tu n'as jamais bien compris l'importance des divisions, imaginées par l'homme, sur la surface du globe terrestre; divisions fictives que tu connais sous les dénominations de pôles, d'équateur, de parallèles, de méridiens; ces divisions, réellement *fictives* puisque tu ne les trouves que sur la repré-

sentation *fictive* du globe terrestre, ne sont pas du moins *arbitraires;* et ceci, il faut que tu le saches bien. Or, pour savoir une chose, on doit en examiner le *comment* et le *pourquoi;* c'est ce que nous allons faire.

Les pôles, on te l'a appris, sont les deux extrémités de l'*axe terrestre,* ou de cette ligne imaginaire sur laquelle on suppose que tourne la Terre en vingt-quatre heures. L'extrémité qui passe dans la direction nord du ciel, a reçu le nom de pôle nord; celle qui passe dans la direction sud, a reçu le nom de pôle sud. Ces deux points diamétralement opposés, conservent toujours leur position.

C'est la constitution physique du globe même qui a conduit l'homme à reconnaître, sur un corps rond, et dans ces deux sens, nord et sud, *deux extrémités* auxquelles il a donné le nom de pôles. A ces deux extrémités, aux deux pôles, la Terre est inhabitable, les mers sont inabordables. Des glaces éternelles opposent une barrière, jusqu'à présent infranchissable, à la curiosité et à l'audace humaines.

Tire à présent une ligne autour du globe, au point juste qui sépare en deux hémisphères égaux la partie du globe que termine le pôle nord et la partie du globe que termine le pôle sud, tu auras l'équateur; mot dérivé du latin AEQUARE, *rendre égal.* L'équateur, placé à égale distance des deux pôles, sépare, tu le vois et tu

le sais, l'hémisphère nord de l'hémisphère sud. La position de ce cercle se trouve encore indiquée par la constitution physique du globe; car, à ce point, prolongé en une ligne qui forme comme une ceinture tout autour du globe terrestre, la chaleur est excessive. Les anciens croyaient qu'aucune des parties de la Terre, situées sous la ligne ou sous l'équateur, n'était habitable; mais de nouvelles explorations, faites par les modernes, ont prouvé que, sous la ligne, existent des contrées populeuses.

Telles sont les premières divisions indiquées, tu dois maintenant le reconnaître, par la constitution physique du globe même. Passons à une autre division non moins importante, à celle qui, s'étendant d'un pôle à l'autre, coupe l'équateur en passant par les pôles, et qu'on appelle *méridien*.

Cette division ne ressort pas, comme les autres, de la constitution physique du globe; elle nous est fournie par la marche du Soleil. A midi, le Soleil darde à plomb sur toute cette ligne qui coupe l'équateur; de là le mot de *ligne méridienne* ou de *méridien*, du latin MERIDIES qui signifie *midi*. Un seul coup d'œil jeté sur ton globe terrestre te montrera qu'il y a plusieurs méridiens à droite et à gauche, c'est-à-dire à l'est et à l'ouest de celui de ces cercles qu'il te plaira de prendre pour *premier méridien*.

Ainsi, l'équateur est la limite qui sépare l'hé-

misphère nord de l'hémisphère sud; et la latitude d'une contrée quelconque est la distance où se trouve cette contrée, nord ou sud, de l'équateur. Si donc cette contrée est située dans l'hémisphère nord, sa latitude est nord; si elle est située dans l'hémisphère sud, sa latitude est sud.

Mais la latitude, *comme le crime, a ses degrés;* comment les déterminer? Ces mots de latitude nord ou de latitude sud sont bien vagues! Sous le parallèle que nous traçons, soit à droite, soit à gauche de l'équateur, il peut se trouver bien des pays, et rien ne nous dit si ces pays sont à l'orient ou au couchant, ni qu'elle est leur distance nord ou sud de l'équateur; rien enfin ne nous indique leur position précise.

Divisons l'équateur en 360 parties égales ou degrés; ceci fait, coupons l'équateur par une ligne méridienne passant par les pôles et que nous appellerons *premier méridien*, lequel passera par Paris, je suppose. De chaque côté de cette ligne méridienne coupons l'équateur, de dix en dix degrés, par d'autres lignes méridiennes passant également par les pôles; puis divisons le premier méridien en 360 parties égales ou degrés, et coupons-le, de dix degrés en dix degrés, par des lignes parallèles à l'équateur. Nous aurons, à partir de l'équateur jusqu'au pôle nord, 90 degrés *de latitude* nord; à partir de l'équateur jusqu'au pôle sud, 90 degrés *de latitude* sud, et nous aurons, à partir du pre-

mier méridien qui divise le globe en hémisphère oriental et en hémisphère occidental, 180 degrés de *longitude* orientale, 180 degrés de *longitude* occidentale.

Je t'engage, ma sœur, à suivre ma démonstration sur ton globe terrestre ou sur une mappemonde. Tu sais ces choses là, je n'en doute pas, mais je doute, il faut l'avouer, qu'elles aient jamais fait l'objet de tes réflexions, et elles le méritent pourtant.

Ces divisions de l'équateur, de dix en dix degrés de longitude au moyen des lignes méridiennes, donnent, et la mesure d'un *espace* éclairé par le Soleil s'élevant au-dessus de l'horizon, et celle du *temps* qu'il met à parcourir cet espace. Ce *temps*, c'est la durée d'une heure. Mais, pendant une heure, le Soleil se trouve au méridien pour plusieurs points intermédiaires; on a donc fait passer de nouvelles lignes méridiennes par ces points intermédiaires qui sont au nombre de soixante, et l'heure s'est trouvée partagée en soixante parties égales entre elles; ces parties ont reçu le nom de minutes. Bientôt, cette subdivision n'a plus été suffisante pour les besoins de la science, et la minute a été subdivisée en soixante secondes, la seconde a été subdivisée en soixante tierces, les tierces enfin en soixante quartes.

Nous avons à présent, tu le vois, la possibilité de préciser avec la dernière exactitude, par de-

grés de latitude et de longitude, par minutes et par secondes la position d'un point donné sur le globe, dans l'hémisphère, soit boréal, soit austral, et dans l'hémisphère, soit oriental, soit occidental.

Le choix à faire du lieu par lequel on devait faire passer le *premier méridien*, a été l'objet de bien des discussions entre les astronomes et les géographes. Les anciens faisaient passer ce premier méridien par la contrée la plus occidentale de toutes les contrées alors connues. A mesure que de nouveaux pays étaient découverts, ce premier méridien était reporté plus loin.

En 1634, Louis XIII rendit une ordonnance par laquelle le premier méridien était fixé à l'Ile-de-Fer; aujourd'hui, ce premier méridien, pour la France, passe par l'observatoire de Paris; pour l'Angleterre, il passe par l'observatoire de Greenwich; la différence est d'une heure environ entre ces deux méridiens, comme te le montrera ton globe terrestre. Tu l'as bien souvent fait tourner pour savoir quelle heure on comptait dans telle ou telle ville, tandis qu'il était midi à Paris, sans te douter de cette belle définition du temps et de la mesure du temps trouvée dans la marche des corps célestes, que t'a donnée Laplace, et dont à présent tu dois comprendre toute la justesse.

Cette recherche de l'heure qu'il était à Vienne, à Rome, etc., pendant que nous comptions midi

à Paris, aurait pu encore te conduire à reconnaître que la prétention de chaque nation de faire passer le premier méridien par sa ville capitale peut paraître fondée jusqu'à un certain point ; cependant, le méridien de l'observatoire de Paris et celui de l'observatoire de Greenwich servent aujourd'hui de point de départ aux géographes, comme aux astronomes, pour leurs observations ; nous remarquerons, à ce sujet, que les connaissances actuelles ne permettent plus de regarder tel point de la Terre comme étant plus occidental que tel autre.

Tu as certainement lu, dans le récit des voyages nautiques, ces mots souvent répétés; *nous prîmes la hauteur du pôle*, ou bien ceux-ci *nous prîmes la hauteur du Soleil*, et tu as passé outre sans te mettre en peine de l'opération ni de son résultat.

Cette opération se fait au moyen d'un octant et d'un cercle répétiteur, et son résultat est de faire connaître la latitude du point où l'on se trouve en mer, c'est-à-dire la distance où l'on est de l'équateur dans l'hémisphère boréal ou dans l'hémisphère austral. Mais la connaissance de la latitude ne suffit pas pour déterminer ce point, pas plus que ne te suffit la connaissance de la latitude d'une ville pour trouver cette ville sur la carte ; il faut encore arriver à découvrir la longitude, et cette dernière opération, si importante, fut longtemps la plus difficile. Trouver

la longitude, c'est déterminer la différence d'heure de deux points au même instant; c'est-à-dire la différence d'heure qui existe entre le lieu où l'on est et un autre lieu placé sous un méridien connu.

Mais, diras-tu, n'a-t-on pas des montres, des montres marines, destinées sans doute à cet usage?

Pendant bien des siècles, ma sœur, l'homme a tâtonné avant que de pouvoir arriver à un résultat, non pas seulement satisfaisant, mais parfaitement exact, tel qu'il est nécessaire; tu dois le comprendre maintenant que tu sais la valeur *en temps* du mouvement de rotation de la Terre qui a une vitesse, en tournant sur elle-même, de deux cent trente-huit toises par seconde, soit six lieues un quart par minute, ou trois cent soixante-quinze lieues par heure. Kepler fut le premier à recommander l'observation des mouvements de la Lune, et il avait raison; le mouvement propre de la Lune est assez rapide pour la faire changer sensiblement de place dans un temps très-court, et les distances de cet astre au Soleil, ou à plusieurs étoiles fixes, varient à chaque instant; mais, à cette époque, on ne possédait pas encore de tables des mouvements de la Lune au moyen desquelles il fût possible de s'assurer de la justesse de l'observation.

Philippe II, roi d'Espagne, proposa une récompense de cent mille écus, somme énorme

pour cette époque, à celui qui découvrirait une bonne méthode de trouver la longitude en mer; au commencement du dix-septième siècle, les États de Hollande offrirent un prix de trente mille florins pour le même sujet; enfin, en 1714, sur la proposition de Newton, le parlement d'Angleterre fonda un prix de vingt mille livres sterling, qui fut décerné par la Société royale de Londres, en 1761, à Harrison. Harrison avait inventé le *chronomètre,* qu'il appela : *Garde-temps.* Dès l'année 1736, il avait parachevé une montre marine dont il fit l'heureux essai dans un voyage à Lisbonne. Nos plus célèbres horlogers de cette époque, Berthoud et Leroy, perfectionnèrent la montre marine de Harrison, et, grâce aux travaux de l'immortel Breguet, l'astronomie et la marine possèdent aujourd'hui des montres de la plus admirable précision. Voici ce que dit Laplace au sujet de l'usage des montres marines pour trouver en mer la longitude; tu remarqueras, ma sœur, que si les progrès faits par l'horlogerie sont immenses, il reste cependant encore quelque chose à désirer pour arriver à une parfaite précision.

« Une montre bien réglée dans un port dont la position est connue, et qui, transportée sur un vaisseau, conserverait la même marche, indiquerait à chaque instant l'heure que l'on compte dans ce port. Cette heure étant comparée à celle qu'on observe à la mer, le rapport de leur diffé-

rence au jour entier serait celui de la longitude à la circonférence. Mais il était difficile d'avoir de pareilles montres; les mouvements irréguliers du vaisseau, les variations de la température et le frottement inévitable et très-sensible dans des machines si délicates, étaient autant d'obstacles qui s'opposaient à leur exactitude. On est heureusement parvenu à les vaincre et à exécuter des montres qui, pendant plusieurs mois, conservent une marche *à très-peu près* uniforme, et qui donnent ainsi le moyen le plus simple d'avoir les longitudes à la mer; et comme ce moyen est d'autant plus précis que *le temps pendant lequel on emploie ces montres, sans vérifier leur marche, est plus court*, elles sont très-utiles pour déterminer la position respective de lieux *fort voisins*.

« Les éclipses des satellites de Jupiter, qui se renouvellent fréquemment, offriraient au navigateur un moyen facile de connaître la longitude, s'il pouvait les observer à la mer; mais les tentatives que l'on a faites pour surmonter les difficultés qu'opposent, à ce genre d'observation, les mouvements du vaisseau, ont été jusqu'ici infructueuses. — Le navigateur les emploie avec succès dans ses relâches: il a besoin, à la vérité, de connaître l'heure à laquelle la même éclipse qu'il observe serait vue sous un méridien connu, puisque la différence des heures que l'on compte sous les méridiens, est ce qui détermine la dif-

férence de leurs longitudes. Mais les tables des satellites de Jupiter, considérablement perfectionnées de nos jours, donnent, pour le méridien de Paris, les instants de ces éclipses avec une précision presque égale à celle des observations mêmes.

« La position de la Lune, telle qu'on l'observerait du centre de la Terre, peut aisément se conclure de sa distance angulaire au Soleil ou aux étoiles : les tables de son mouvement donnent ensuite l'heure que l'on compte sous le premier méridien lorsqu'on y observe la même position; et le navigateur, en la comparant à l'heure qu'il compte sur le vaisseau au moment de son observation, détermine la longitude par la différence de ces heures. »

Commences-tu enfin, ma sœur, à reconnaître que les vérités proclamées par l'astronomie sont pourtant des vérités?

NEUVIÈME CAHIER.

INÉGALITÉ DANS LA LONGUEUR DES JOURS ET DES NUITS.— CHANGEMENTS DANS LES SAISONS.

Tu as dû t'attendre, ma chère Laure, quand tu m'as demandé mes cahiers, à y trouver des choses que tu sais déjà; je t'engage, cependant, à ne point passer ces choses-là, parce qu'il est possible que tu en rencontres chemin faisant que tes livres élémentaires ne t'ont point rendues parfaitement *sensibles*, et il ne faut pas de *vague* en astronomie; dans cette science qui est,

au contraire, la précision mathématique elle-même. Je transcrirai donc ici ce que me fournissent mes notes au sujet de la longueur variée des jours et des nuits pour certaines parties du globe, et des changements des saisons.

La Terre tournant constamment sur elle-même en vingt-quatre heures et ayant une forme sphérique, il s'ensuit nécessairement qu'elle ne peut, dans cet espace de temps, être éclairée par le Soleil que d'un côté à la fois, et que, pour l'autre côté, règne l'obscurité. C'est d'Occident en Orient qu'elle exécute ce mouvement de rotation ; il en résulte que le *mouvement apparent* de toute la sphère céleste a lieu d'Orient en Occident. Ainsi, par exemple, le Soleil nous *paraît* se lever à l'Orient, et poursuivre sa course vers l'Occident jusqu'au moment où arrivé à ce point, il *disparaît* sous l'horizon ; ceci, tu le sais, est une illusion qui naît du mouvement de rotation de la Terre, dans le sens opposé. Ainsi donc lorsque, *par hasard*, il t'arrive d'assister *au lever du Soleil,* c'est que le point du globe sur lequel tu te trouves, et qui était, un instant auparavant, plongé dans l'obscurité, commence à recevoir les rayons du Soleil immobile, tu n'en peux plus douter maintenant, et devant lequel tu t'inclines en tournant avec ce point ; et le Soleil te *paraît* monter de plus en plus au-dessus de l'horizon.

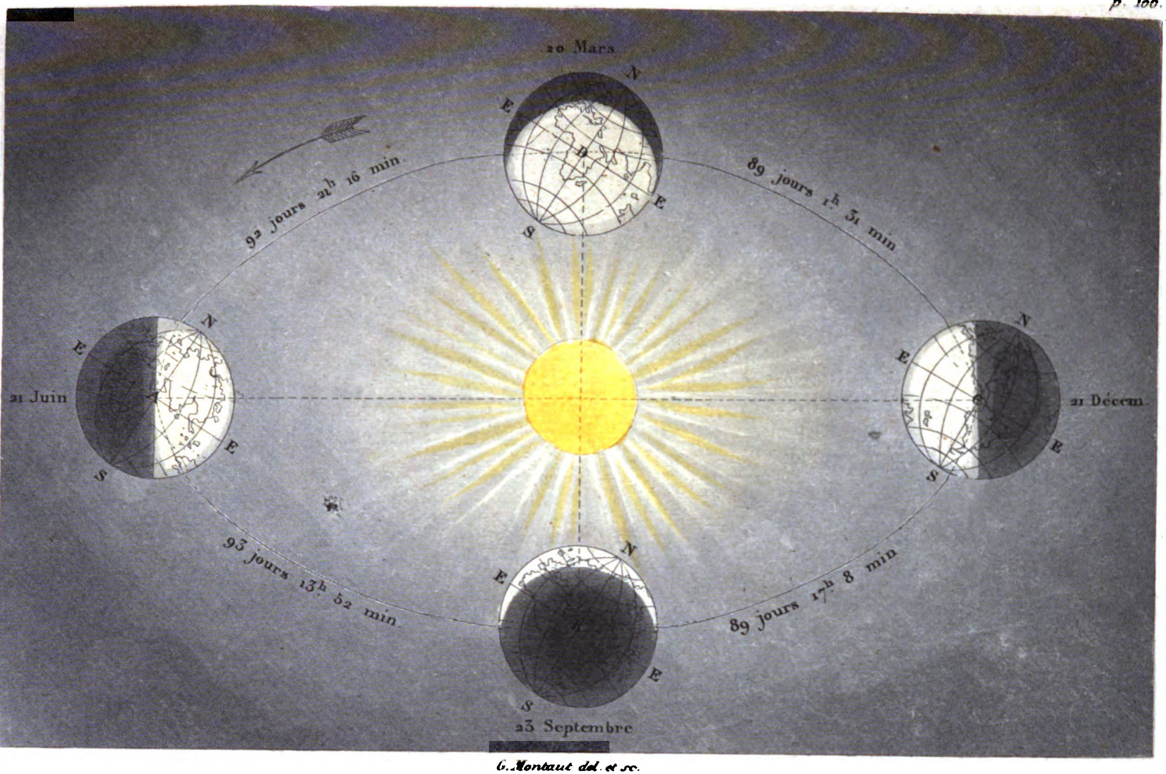
De la révolution de la Terre et des planètes

sur un axe, résulte donc une constante succession de jours et de nuits; si cet axe était perpendiculaire au plan de l'orbite des planètes, ces jours et ces nuits seraient constamment égaux, et il n'y aurait point de changement dans les saisons. Mais il n'en est pas ainsi; l'inclinaison de l'axe détermine, tu le sais bien, et les variations dans la longueur des jours et des nuits, et les changements qui nous donnent tour à tour le printemps, l'été, l'automne et l'hiver. Mais cette inclinaison de l'axe de rotation n'est pas la même, tu dois t'en souvenir, pour toutes les planètes. Ainsi, par exemple, l'axe de Jupiter étant presque perpendiculaire au plan de son orbite, il en résulte que, d'un pôle à l'autre, ses habitants, si cette planète est habitée, ont des jours constamment égaux aux nuits; la longueur de ces jours et la longueur de ces nuits est de quatre heures vingt-huit minutes; calcul facile à faire, puisque cette planète accomplit en neuf heures cinquante-six secondes sa révolution sur elle-même, tandis que la Terre et Mars, dont l'axe incliné dans le plan de leur orbite présente un angle moindre de 90°, ont des jours inégaux et voient leurs saisons varier pendant leur marche autour du Soleil.

En un seul point de la Terre, tu le sais encore, les jours sont constamment égaux aux nuits, ce point c'est l'équateur: en deux autres points, tu le sais de même, il y a six mois de

nuit et six mois de jour; ces points sont le cercle polaire sud, qui compte six mois de nuit à partir du solstice d'été au solstice d'hiver, et le cercle polaire nord, qui compte six mois de jour pendant ce même laps de temps; à partir du solstice d'hiver jusqu'au solstice d'été, le pôle sud, à son tour, compte six mois de jour, et le pôle nord six mois de nuit.

Pour peu que tu regardes plus attentivement que tu ne l'as fait peut-être jusqu'à ce jour la figure ci-jointe, que, tu connais, tu te rendras compte bien clairement, ma Laurette, de l'inclinaison de l'axe terrestre au plan de l'orbite parcourue autour du Soleil par la Terre; inclinaison invariable, et qui fait que, dans toutes les positions que prend la Terre dans sa marche, cet axe demeure toujours parallèle à lui-même. En *A*, comme tu le vois, le pôle nord *N* est comme plongé dans les rayons solaires, tandis que le pôle sud *S* est au contraire dans l'obscurité. En *B*, il en est encore ainsi; mais en *C* la position des pôles a changé; le pôle sud commence à être éclairé, et le pôle nord est déjà complétement plongé dans l'ombre, il en est de même en *D*. Quant au point *A B C D* à l'équateur *E*, il reçoit constamment les rayons solaires; là, les jours sont donc toujours égaux aux nuits; là, quelle que soit la position des pôles relativement au Soleil et le point de l'orbite parcouru par la Terre, le Soleil toute l'*année*,



G. Montaut del. et sc.

inonde de ses feux, pendant douze heures, cette partie de l'hémisphère tournée vers lui.

Fais bien attention, je te prie, que l'inclinaison de l'axe terrestre ne varie pas, ainsi que je te l'ai dit tout à l'heure, et comme te le prouve cette figure. Tu peux aisément te représenter le globe dans toutes les positions intermédiaires entre le soltice d'été et l'équinoxe d'automne, *A B C D*, et toujours le pôle nord répondra au pôle nord de l'équateur céleste. Ce qui varie, c'est la longueur des jours et des nuits; ce qui varie, ce sont les saisons. En mars, les jours et les nuits sont égaux par toute la Terre; en juin, la partie nord de la Terre jouit des longs jours et des chaleurs de l'été, tandis que, dans la partie sud, règnent les longues nuits et l'hiver; en septembre, de même qu'en mars, les jours et les nuits sont égaux par toute la Terre; en décembre, c'est au tour des habitants du Nord d'avoir des jours très-courts, des nuits fort longues et les froidures de l'hiver, tandis qu'au Sud règne l'été. Ainsi donc, toutes les parties du globe terrestre se trouvent à leur tour éclairées, échauffées par les rayons solaires, et, à leur tour, plongées dans l'obscurité.

Fais encore attention à une chose, ma sœur, c'est que la Terre, de même que toutes les planètes, je te l'ai déjà dit, se meut tantôt plus vite, tantôt plus lentement, suivant la partie de l'orbite parcourue; de là vient que la demi-année

d'hiver n'est pas égale à la demi-année d'été. La Terre, en hiver, se trouve près du Soleil ; elle se meut alors plus vite et elle emploie un nombre moindre de jours, d'heures et de minutes à se rendre de l'équinoxe d'automne au solstice d'hiver, et du solstice d'hiver à l'équinoxe du printemps ; en été, elle est plus loin du Soleil, et elle emploie un nombre de jours plus grand à se rendre de l'équinoxe du printemps au solstice d'été, et du solstice d'été à l'équinoxe d'automne; tu verras, sur cette figure, la différence de longueur entre la demi-année d'hiver et à la demi-année d'été. Il fallait, en effet, que la vitesse de translation combattît l'attraction solaire plus puissante au moment où la Terre est périhélie, et il fallait que cette vitesse diminuât au moment où la Terre est aphélie, autrement la Terre serait tombée sur le Soleil, alors qu'elle s'en approche en décembre, et elle aurait pu le fuir à jamais, en suivant une ligne droite, lorsqu'elle s'en éloigne en juin. Vois, ma sœur, comme tout a été calculé pour maintenir l'équilibre!

Comme tu aimes assez les preuves *palpables* de ce que la science enseigne, je joins à ce cahier une autre figure. C'est celle d'une *machine* fort simple, inventée par Ferguson, pour démontrer le double mouvement de la Terre sur elle-même et autour du Soleil, et les phénomènes du jour, de la nuit, et des changements des saisons qui résultent de ce double mouvemeut, ainsi que

de l'inclinaison de l'axe terrestre au plan de l'écliptique.

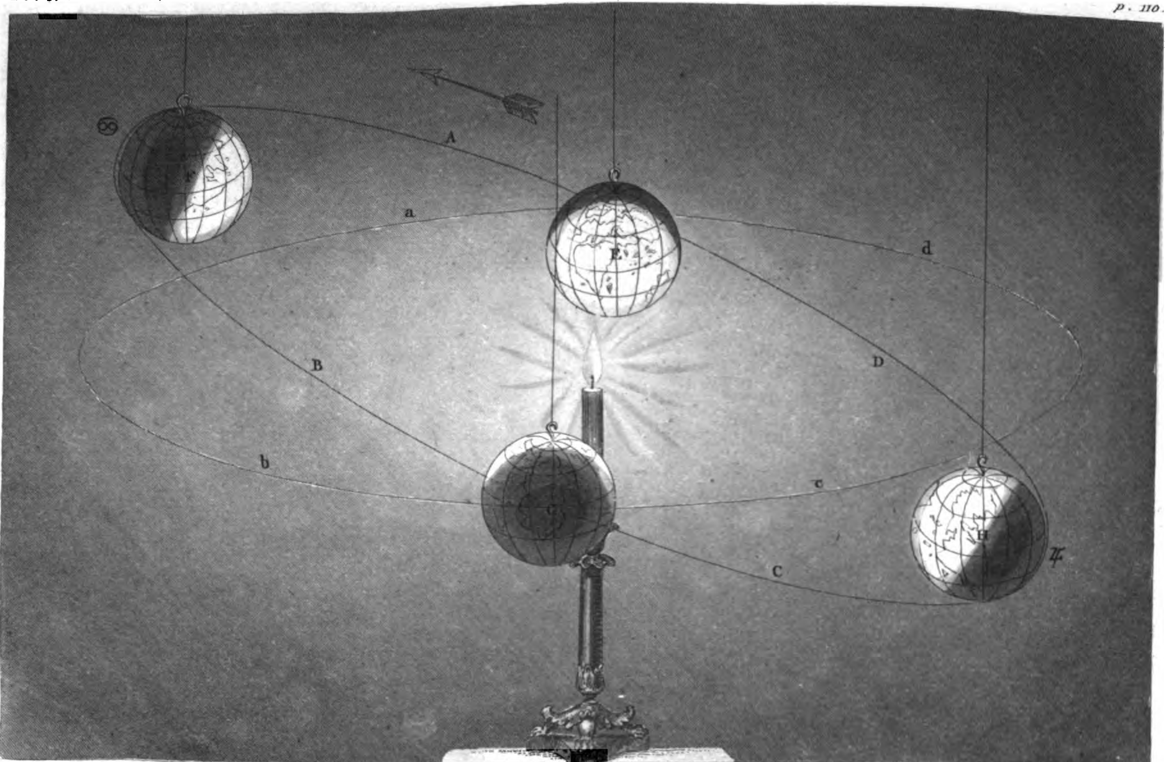
Suppose que tu as fait faire, avec six ou sept pieds de gros fil de fer, un cercle que voici représenté sur cette figure, par le cercle ponctué *a b c d*. L'effet de la perspective seul te le montre comme ayant une forme ovale. Place une bougie sur une table et prie notre bonne mère de tenir ce cercle de fil de fer à la hauteur de la flamme de la bougie. Prends ensuite le petit globe terrestre que mon oncle t'a donné et au pôle nord duquel tu auras fait adapter un crochet. Au moyen d'une soie et du crochet, suspends ce petit globe ; pour peu que tu imprimes un léger mouvement à la soie, le globe tournera sur lui-même de dehors en dedans ou de droite à gauche ; ce sera le mouvement diurne d'orient en occident. Fais marcher ton petit globe, ainsi tournant sur lui-même, de *a* en *b*, en *c*, en *d*, autour de la bougie, centre d'où part la lumière, et tu verras alors qu'à quelque point du cercle qu'il se trouve, une moitié, ou un hémisphère, est éclairée d'un pôle à l'autre, et que l'autre hémisphère se trouve plongé dans l'ombre. Ainsi il y a partout, c'est-à-dire, dans tous les points de l'orbite, *égalité parfaite* entre les jours et les nuits et toujours *même saison*. Comme ce n'est pas ce que nous voyons sur notre sphère, il faut nécessairement que le phénomène qui produit la différence dans la longueur des jours

et des nuits, lesquels ne sont d'égale durée que deux fois l'année, aux deux équinoxes, ne se passe pas de la sorte; il faut aussi qu'une cause encore inconnue produise l'autre phénomène, celui des saisons.

A présent que nous avons reconnu que la révolution diurne de la Terre et son mouvement de translation autour du Soleil ne suffisent pas pour expliquer l'inégalité des jours et des nuits et les changements dans les saisons, faisons une autre expérience. Prie maman de donner au cercle de fer l'inclinaison que te présente celui qui porte les lettres capitales *A B C D*, de manière à ce que la partie ♋ soit aussi élevée que la partie ♑ est abaissée; mais en ayant soin que la flamme de la bougie soit toujours dans le plan du cercle *A B C D*. Tu n'as plus à te préoccuper du premier cercle ponctué; il a bien fallu l'indiquer sur le dessin pour expliquer la première expérience; nous cessons désormais d'en tenir compte, il n'existe plus pour nous.

Si l'inclinaison du cercle *A B C D* est convenable, lorsque ton petit globe, que tu fais tourner sur lui-même d'orient en occident et marcher de droite à gauche, dans le cercle, ainsi incliné, c'est-à-dire de *A* en *B*, de *B* en *C*, se trouvera en ♑ qui est la partie la plus basse du cercle, la lumière, dès qu'il sera parvenu en *H*, éclairera le pôle nord, tandis que le pôle sud se trouvera plongé dans l'obscurité. Il est évident

p. 110.



G. Montaut del. et sc.

qu'en ce moment, et dans cette position du petit globe, toutes les contrées situées au nord de l'équateur auront des jours plus longs que les nuits, et que les contrées situées au sud de l'équateur auront des nuits plus longues que les jours. Le contraire aura lieu pour ton petit globe parvenu au point le plus élevé en ♋ du cercle incliné, ou en *F*, c'est-à-dire que le pôle nord aura alors des nuits plus longues que les jours, et le pôle sud des jours plus longs que les nuits; mais dans les points *E* et *G*, les jours et les nuits seront égaux pour tout le petit globe.

Si, maintenant que tu as fait cette expérience, tu examines de nouveau la pl. III, tu reconnaîtras que l'inclinaison, imprimée à ce cercle *A B C D*, n'a pu que te donner une idée très-imparfaite de l'inclinaison de l'axe terrestre au plan de l'écliptique, mais du moins cette idée a été éveillée, et tu te trouves toute disposée à l'avouer pour vraie; dès lors je peux te dire, avec la certitude d'être *cru* et *compris*, que le phénomène du renouvellement des saisons est dû à l'inclinaison constante de l'axe terrestre au plan de l'écliptique pendant la marche annuelle de la Terre autour du Soleil, de même que le phénomène du jour succédant à la nuit, et de la nuit succédant au jour, est dû à son mouvement de rotation. Cette inclinaison, toujours la même, ainsi que te le montre la pl. III, donne six mois de jour et d'été au pôle nord, six mois de nuit et

d'hiver au pôle sud; puis six mois de jour et d'été au pôle sud, et six mois de nuit et d'hiver au pôle nord. Pour les climats tempérés, les saisons, en se succédant, amènent seulement des nuits plus courtes et des jours plus longs, des jours plus courts et des nuits plus longues.

Tu dois également me croire et me comprendre, lorsque j'ajoute que, si le Soleil était placé au *centre* de l'orbite terrestre, la Terre décrirait autour de lui un cercle; mais, comme il occupe un des foyers de cette orbite, la Terre s'en rapproche en hiver, s'en éloigne en été, et l'orbite terrestre s'allonge en ellipse. En juin, pl. III, les rayons du Soleil arrivent perpendiculairement sur toute sa surface éclairée; cette surface est fortement échauffée; les nuits sont courtes, et la Terre n'a pas le temps de se refroidir par le rayonnement pendant ces nuits de peu de durée; en décembre, au contraire, la Terre, plus près du Soleil, est éclairée obliquement par ses rayons qui ont à traverser, obliquement aussi, notre atmosphère; ils échauffent dès lors très-peu le sol, et, comme les nuits sont longues, bien plus longues que les jours, la Terre perd par le rayonnement, pendant ces longues nuits, le peu de chaleur reçue pendant le jour; le sol se refroidit donc rapidement, et, *quoique* nous nous trouvions en hiver *plus près* du Soleil qu'en été, nous avons froid, il gèle et il glace.

Il ne faut pas, au reste, ma sœur, t'imaginer

que nous nous rapprochions *de beaucoup* du Soleil au mois de décembre. Ce rapprochement est fort peu de chose, eu égard à la distance immense où nous nous trouvons de notre centre d'attraction.

Je te prierai, à présent, de relire ton traité d'astronomie, afin de t'assurer si tu avais bien compris l'explication *palpable* que je viens de te donner des causes auxquelles nous devons les variations des jours et des nuits, et les changements dans les saisons.

DIXIEME CAHIER.

JOUR SIDÉRAL. — JOUR SOLAIRE. — SOLEIL FICTIF.

J'ai souri, ma chère Laure, en lisant ces mots que tu viens de mécrire, au sujet de mon neuvième cahier: « Bien certainement la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil, je le reconnais maintenant et *je le proclamerai* même, si tu veux, mon frère; mais alors me voici plus embarrassée que jamais pour concilier ces deux mouvements-là avec ceux du Soleil dont on parle

sans cesse, et dans tous les livres d'astronomie. La Terre *doit* se mouvoir, tu m'as convaincue à ce sujet; mais le Soleil se meut aussi, n'est-ce pas ? »

Tu le sais, ma sœur. D'abord le Soleil, comme tous les corps du système planétaire, comme les étoiles elles-mêmes, tourne sur un axe, et l'on a tout lieu de croire qu'il est emporté, avec son cortége de planètes, vers la constellation d'Hercule : voilà les deux mouvements *vrais* que l'observation a conduit l'homme à reconnaître; mais quant au mouvement de translation dans l'écliptique que nous lui *prêtons*, ce n'est en effet qu'un mouvement *apparent*, qu'une illusion produite par le mouvement *vrai* de la Terre sur elle-même et autour du Soleil.

Le mouvement *vrai* de la Terre sur elle-même, ou mouvement diurne, nous fait voir le Soleil se levant à l'Orient, se couchant à l'Occident dans les vingt-quatre heures; le mouvement *vrai* de translation de la Terre autour de notre centre commun d'attraction nous fait voir le Soleil entrant tour à tour dans les douze signes du zodiaque. Si le plan de l'écliptique, qui est l'orbite décrite par la Terre autour du Soleil, pouvait être tracé dans l'espace, il nous apparaîtrait comme une bande étroite dans laquelle nous apercevrions des groupes d'étoiles; plusieurs de ces groupes d'étoiles, appelés constellations, nous deviennent visibles ou invisibles à mesure que la Terre

avance dans son orbite, et le ciel change d'aspect avec les saisons; mais comme le mouvement *vrai* de la Terre prête au Soleil et à la voûte céleste un mouvement *apparent*, ce n'est pas la Terre, c'est le Soleil qui nous *paraît* parcourir l'écliptique; ce n'est pas la Terre qui répond, dans sa marche, aux douze constellations du zodiaque, c'est le Soleil qui, suivant les saisons, nous *paraît* entrer dans chacun de ces signes. Quand il en sera temps, je te donnerai, à ce sujet, des explications plus détaillées. Pour le moment, il suffit de te rappeler que, *quel que soit* le mouvement du Soleil dont te parle un astronome, il est bien entendu que ce mouvement ne peut être pris dans le sens absolu; que c'est seulement *une apparence* due au mouvement *réel* de la Terre. Suivant le besoin, l'astronome te dira donc : *la marche de la Terre dans l'écliptique*, ou *la marche du Soleil dans l'écliptique*, de même qu'il te dira: *le mouvement diurne de la Terre*, ou bien *le lever et le coucher du Soleil*, sans que tu en puisses tirer aucune conséquence contraire à ce que tu sais positivement, c'est-à-dire au double mouvement diurne et de translation de la Terre qui est la cause, le point de départ de tant de phénomènes merveilleux.

Ceci posé, suivons la marche *apparente* du Soleil autour de la Terre dans les vingt-quatre heures, et comparons-la à la marche *apparente*

d'une étoile; car, tu le sais à présent, la voûte étoilée ne tourne pas plus que le Soleil autour de nous.

Le Soleil met vingt-quatre heures à tourner autour du globe terrestre, et une étoile fixe emploie seulement vingt-trois heures cinquante-six minutes et quatre secondes à faire le même chemin; d'où il résulte que l'étoile gagne chaque jour sur le Soleil trois minutes cinquante-six secondes, ou quatre minutes si tu veux, afin de nous servir d'un nombre rond. Ces quatre minutes, dont tu ne t'inquiètes guère peut-être, font cependant que l'année sidérale est plus longue d'un jour que l'année solaire; voici comment: dans l'année solaire, le Soleil est revenu au même méridien 365 fois; dans l'année sidérale, l'étoile est revenue au même méridien 366 fois; cette différence, entre le jour solaire et le jour sidéral, est donc d'une valeur importante; car, si dans le cours de la vie on peut dire parfois: Qu'importe un jour de plus ou de moins! il n'en est pas de même en astronomie; en astronomie, un dixième de seconde a une valeur notable.

D'où vient cette différence dans la marche des deux astres? Elle vient uniquement de l'immense distance où nous sommes de l'étoile. Comparé à cette distance, le diamètre de l'orbite terrestre, qui est, tu le sais, de soixante-huit millions de lieues, n'est qu'un point; ainsi, peu importe que la Terre se trouve dans telle ou telle

partie de cette orbite de soixante-huit millions de lieues; l'étoile observée hier à un méridien reviendra demain, après-demain, dans trois mois, dans six mois, dans neuf mois, dans un an, à ce même méridien, comme si la Terre n'avait pas changé de place.

« Il n'en est pas de même du Soleil, puisqu'il décrit une ellipse et qu'il a un périgée et un apogée, puisque enfin il se meut plus rapidement dans le périgée et moins rapidement dans l'apogée; si donc on compare jour par jour sa marche diurne avec celle d'une étoile, et en supposant l'un et l'autre partis du même point, le périgée, l'étoile arrivera au méridien avant lui: cette avance de l'étoile est de quatre minutes; le lendemain l'étoile sera encore en avance de quatre minutes, et ainsi de suite; tellement qu'un certain jour ils passeront ensemble au méridien pour recommencer leurs marches respectives avec les mêmes irrégularités. L'étoile qu'on observe est donc revenue au même point du méridien avant que le Soleil y soit parvenu, et ainsi le jour sidéral est terminé, que le jour solaire ne l'est pas encore; d'où il suit que le jour solaire est plus long que le jour sidéral. S'ils avaient été l'un et l'autre de la même durée, comme ils font l'élément de l'année, la confection du calendrier n'eût offert aucune difficulté. » (M. Arago.)

Tu peux, ma sœur, comme tu le sais, t'assurer de la ponctualité d'une étoile à revenir au

même point du ciel chaque soir ou chaque nuit à la même heure, en prenant, à l'horizon, pour point de repère, un clocher derrière lequel cette étoile vient s'osculter, ou bien en fixant un fil à une vitre. Quant à ce qui touche l'irrégularité de la marche du Soleil, irrégularité due à la forme de l'écliptique dans lequel il se meut et à sa position, périgée et apogée, tu peux, je pense, t'en rapporter aux observations des astronomes, dont l'exactitude ne saurait être mise en doute.

Par suite de cette exactitude, les astronomes ne pouvaient compter les heures d'après la marche irrégulière du Soleil ; le jour, aux observatoires, n'est pas le jour solaire, c'est le jour sidéral. Le jour solaire se compose des vingt-quatre heures qui s'écoulent entre deux midis consécutifs; le jour sidéral se compose de vingt-trois heures 56' 4" qui s'écoulent entre *deux minuits consécutifs*. Dans le temps de la grande ferveur pour le calcul décimal, on a voulu diviser le cercle en 100 degrés au lieu de 360, puis subdiviser les heures en 100 minutes, chaque minute en 100 secondes; mais bientôt on est revenu à la division du cercle par 360 degrés, et de l'heure par 60 minutes. Comment, entre le jour solaire et le jour sidéral, trouver la véritable mesure du temps? Comment régler sa montre, par exemple? Sera-ce sur le jour solaire ou bien sur le jour sidéral? Écoutons M. Arago :

« Le Soleil a un mouvement propre apparent

d'Orient en Occident, qui contrarie son mouvement annuel et de translation. Pendant qu'il tend à parcourir son orbite dans une année, il est continuellement retardé dans sa course par son mouvement propre; à peu près comme si un homme, sur un vaisseau, marchait du Nord au Midi, pendant que le vaisseau marche du Midi au Nord. — Quand le Soleil n'aurait ni périgée ni apogée, mais un mouvement uniforme sur l'écliptique, les jours solaires ne donneraient pas moins à l'année quelqu'inégalité à cause de l'obliquité de ce cercle relativement à l'équateur. Ainsi ses inégalités résultent de ce qu'il ne décrit pas l'équateur, mais de ce qu'il décrit un cercle incliné à l'équateur, et, enfin, de ce qu'il ne se meut pas uniformément sur l'écliptique, puisque ses déplacements sont plus considérables au 1er janvier et moindres au 1er juillet. — On ne pouvait donc pas prendre cette marche si inégale du Soleil pour l'unité de temps et pour la division de l'année, eu égard aux besoins de l'agriculture et aux travaux de la vie sociale, si les astronomes n'eussent pas corrigé ses inégalités par un procédé qu'on appelle équation du temps (du latin *æquare*, rendre égal, tu t'en souviens, ma sœur).

« C'est faire un bien médiocre éloge d'une montre que de dire qu'elle marche comme le Soleil; de même que le Soleil, l'étoile avançant chaque jour de quatre minutes, terme moyen,

sur le Soleil, ne peut non plus être prise pour déterminer l'unité de temps, puisque cette unité serait sans relation avec l'ordre des saisons alternativement froides et chaudes. Pour rendre donc les jours solaires égaux les uns aux autres, il faut imaginer un soleil qui se meuve dans l'équateur et qui s'y meuve uniformément.

« Le temps *vrai* se compte depuis le passage du Soleil au méridien jusqu'au moment de son retour au méridien; le temps *moyen* sera celui qui s'écoule entre le passage du Soleil fictif et son retour au même point; cet intervalle sera régulier, sa marche étant uniforme. L'équation du temps sera nulle quatre fois dans l'année, aux équinoxes et aux solstices, c'est-à-dire que le Soleil fictif coïncidera ces quatre jours-là avec le Soleil véritable.

« Le Soleil fictif est supposé partir du périgée au même moment que le Soleil véritable. Quoique ce Soleil fictif ait une marche régulière, il n'est pas tout à fait en désaccord avec le vrai Soleil, puisque, comme on l'a dit, tous deux coïncideront quatre fois dans l'année; dès lors il pourra régler le temps sans intervertir l'ordre des saisons; ce sera le *temps moyen*. La différence entre le temps *vrai* et le *temps moyen* ne sera plus que de dix-sept secondes, tantôt en plus, tantôt en moins.

« On a dressé des tables de cette équation pour tous les jours de l'année, avec la plus ri-

goureuse précision. Ces tables de l'équation du temps sont publiées tous les ans dans l'Annuaire du bureau des longitudes.—Si, en voulant régler votre montre, vous observez qu'elle est de dix-sept minutes en avance sur le Soleil, un certain jour, à midi, vous consultez l'Annuaire ou la Connaissance des temps, et si vous trouvez que ce jour-là le temps moyen est en avance de dix-sept minutes sur le temps vrai, ce sera une preuve que votre montre est bien réglée ; de même que si elle ne marque pas tout à fait midi lorsqu'il est midi au Soleil, vous ne la dérangerez pas, pour cela, de sa marche, et vous vous convaincrez que cette marche est régulière au moyen de ces tables qui indiquent jour par jour de combien de minutes, secondes et tierces le temps vrai diffère du temps moyen. »

Si tu lis ce passage à M. Derbigny, ma chère Laure, il sera à la fois *désespéré* et *ravi :* désespéré, parce que, depuis tantôt quarante ans, il se vante d'avoir toujours eu des montres qui marchaient comme le Soleil; ravi, parce qu'au moyen des tables d'équation, publiées dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*, il pourra se donner un certain petit air scientifique aux yeux des notabilités des environs.

Tu vois comment M. Arago sait rendre parfaitement claire chacune des questions qu'il traite, et je pense qu'à présent ce Soleil fictif, qui t'a tant chagrinée lors de tes premières études astro-

nomiques, et que tu repoussais par tous les raisonnements possibles, parce que tu ne voyais pas l'utilité dont il pouvait être, a trouvé grâce devant toi.

Les anciens ont connu la nécessité de l'équation du temps, si l'on en juge d'après ce que dit à ce sujet Ptolémée dans son troisième livre de l'*Almageste;* Tycho-Brahé et Kepler en ont fait usage; mais elle ne fut généralement adoptée qu'en 1672, d'après des observations publiées par Flamsteed.

Depuis cette époque, de nouvelles observations ont appris que, dans l'équation du temps, il faut tenir compte de certaines irrégularités occasionnées par les perturbations que les planètes éprouvent dans leur marche; ces perturbations, qui sont l'un des phénomènes les plus intéressants de l'astronomie, et dont nous parlerons bientôt, ne produisent qu'une erreur de peu de secondes; nous ne nous y arrêterons point, par l'excellente raison que je ne suis pas capable d'entrer à ce sujet dans des explications que tu ne serais pas en état de comprendre; d'ailleurs, elles nous importent peu à nous deux qui gaspillons si volontiers le temps; ce temps, au sujet duquel saint Augustin disait : « Lorsqu'on ne me demande pas ce que c'est que le temps, je crois le savoir; si l'on me demande ce que c'est, je l'ignore! »

ONZIÈME CAHIER.

RÉFORME DU CALENDRIER.

A la vue seule de ce titre, tu auras frissonné d'épouvante, ma petite sœur, car tu te seras rappelé l'un des chapitres les plus arides de tous ceux si arides que présentent les résumés ou traités élémentaires d'astronomie. Mais cette épouvante s'apaisera, si tu songes que tu as pour guide un frère tout occupé d'arracher les épines de la route où tu le suis, et de t'aider à

atteindre le but de ces nouvelles études au-devant desquelles tu es venue de toi-même ; et ce but, c'est de parvenir à savoir *comment* l'homme a reconnu les vérités que proclame la science de l'astronomie.

Nous venons de voir *comment* a été réglé le temps employé par le Soleil à tourner autour du globe dans sa révolution diurne; mais le Soleil fait une autre révolution autour de ce même globe. Voyons *comment* a été *reconnue* la durée de cette autre révolution ; résultat d'une importance immense, ainsi que nous l'enseigne, avec la plus admirable concision, M. Arago.

« L'année est l'intervalle de temps dont le Soleil a besoin pour revenir au même point de son orbite. On est convenu de prendre pour point de départ l'équinoxe, où la déclinaison du Soleil est nulle. Mais comment trouver ce point de l'équinoxe?

« J'observe le Soleil le 21 mars; il n'est pas encore à l'équinoxe ; je marque l'heure, la minute, la seconde de mon observation. Le lendemain, je l'observe encore ; je vois qu'il a passé l'équinoxe; je tiens également compte de l'heure, minute et seconde de l'observation; et, comme il y a lieu de supposer que son mouvement est le même, c'est-à-dire qu'en un temps donné il s'est déplacé de la même quantité le 21 mars et le 22, je fais une partie proportionnelle qui me donnera le lieu précis de l'équinoxe que je n'aurais pu obtenir

immédiatement. L'année suivante, le 21 mars, à midi, j'observerai le Soleil revenu à ce point équinoxial; il a mis à y revenir 365 jours 2,422^{me} de jour.

« Les Égyptiens comptaient l'année sans tenir compte de cette fraction qui est de près d'un quart de jour; c'était leur année *vague*. Ainsi, en commençant l'année à minuit, l'année suivante commençait à 6 heures du matin, le 21 mars; ensuite à midi, puis à 6 heures du soir; au bout de quelques années, elle commençait en avril, en mai, en juin, etc.; en sorte qu'une pareille année n'était nullement en harmonie avec le retour des saisons ni avec l'époque des semailles et des récoltes. On ne saurait dire, en lisant les annales de ce temps, si une bataille qui a eu lieu au mois de juillet a été donnée en hiver ou en été, si les rivières étaient ou n'étaient pas gelées au mois d'août. L'ordre primitif ne revenait qu'après 1460 ans.

« Si, au lieu de la fraction 2,422, on avait celle de 025, il n'y aurait plus de difficulté; ce serait un quart de jour à ajouter aux 365 jours dont l'année se compose, et l'année astronomique serait tous les quatre ans de 366 jours. C'est ce qu'a fait Jules César, qui a donné son nom au calendrier Julien.

« Les Romains divisaient le mois en trois parties. La première s'appelait les *Kalendes*, la seconde, les *Ides*; la troisième, les *Nones*; et ils

comptaient les jours en rapportant la date au mois suivant. Jules César doubla le *sixième* jour des *kalendes*, d'où l'année *bissextile* tire son nom; ce calendrier fut généralement adopté.

« Mais Jules César avait trop intercalé, puisque la fraction de l'année astronomique, 2,422^mes de jour, n'est pas tout à fait un quart de jour, et l'année commençait déjà vers la fin de mars.

« Au concile de Nicée, on décida que la fête de Pâques se célébrerait, dans toute la chrétienté, le premier dimanche qui suit la pleine Lune de mars, et, pour empêcher à cet égard toute confusion, et prévenir le retour de cette computation défectueuse, le pape Grégoire XIII réforma le calendrier Julien, en ordonnant que le lendemain du 4 octobre 1582 s'appellerait le 15 octobre. Par ce moyen, on supprimait dix jours; ce n'était pas tout à fait assez.

« Dans le calendrier Julien, toutes les années dont l'indice est divisible par quatre étaient bissextiles; ainsi toutes les années séculaires se trouvaient de cette espèce. Grégoire régla que tous les 400 ans, l'année qui était bissextile dans le calendrier Julien serait une année commune, et que, pour savoir si une année séculaire était bissextile, il suffirait, en retranchant les zéros, que les chiffres significatifs de l'indice fussent divisibles par quatre pour que l'année fût bissextile. Ainsi, l'an 1600 est bissextile, parce que 16 est divisible par 4; l'an 1700 est

une année commune, l'an 1800 de même, et aussi l'an 1900 sera année commune, tandis que l'an 2000 sera année bissextile.

« On peut donc dire que trois années communes sont suivies d'une année bissextile, et trois années séculaires communes sont suivies d'une année séculaire bissextile. Par cette réforme, qui est adoptée dans tous les pays catholiques, l'ordre est rétabli de manière à atteindre à très-peu près la justesse de la fraction 2,422.

« Le calendrier suivi par les Russes diffère de 12 jours du calendrier grégorien. C'est que, d'abord, ils n'ont point supprimé les 10 jours de 1582; de là, entre eux et nous, une différence de 10 jours; ensuite ils ont compté comme bissextiles les deux années séculaires 1700 et 1800, ce qui fait, en tout, 12 jours. L'année 1900 sera aussi bissextile pour eux sans l'être pour nous; ce sera donc encore un jour de plus de différence; par conséquent 13 jours entre eux et nous; ce qui ira toujours en croissant.

« Dans un intervalle de dix mille ans, l'erreur provenant de la réforme grégorienne sera encore très-légère.

« Quant au nombre d'or, aux épactes, ce sont des computs ecclésiastiques qui ont plus de rapport aux fêtes de l'Eglise qu'à une division astronomique du temps. »

Eh bien! ma sœur, comprends-tu maintenant ce que c'est que la réforme du calendrier? Tu

vois avec quelle netteté, avec quelle clarté en ressort, dans la bouche de M. Arago, toute l'importance.

En effet, sans le secours d'un bon calendrier, comment préciser le retour des saisons, comment déterminer l'époque des fêtes observées par l'Eglise, comment transmettre à la postérité la date certaine des événements les plus remarquables de l'histoire?

Dans tous les âges du monde, et chez tous les peuples, on a senti le besoin de diviser le temps par périodes régulières; mais, jusqu'au seizième siècle, comme M. Arago vient de le prouver, la mesure du temps fut incertaine; un point de départ fixe manquait.

Il en avait été ainsi pour la division du jour; tel peuple faisait partir la première heure du lever du Soleil, tel autre de son coucher; tel peuple la comptait à partir de midi, tel autre à partir de minuit. Les Juifs et les Romains divisaient la journée, qu'elle fût longue ou courte, en douze parties, et la nuit de même; il en résultait que ces douze heures de jour et ces douze heures de nuit étaient de longueur inégale, excepté à l'équinoxe; c'est encore ainsi que les Turcs divisent la journée.

Les Egyptiens, d'après le témoignage d'Hérodote, furent les premiers, tu viens de le voir, à diviser l'année en trois cent soixante jours et à la subdiviser en douze mois, afin de faire con-

corder avec la division annuelle les révolutions lunaires. Tu dois sentir à présent, ma sœur, les *inconvénients* de cette division arbitraire. Ce n'était pas seulement chez les Egyptiens que le premier de l'an arrivait à diverses époques de la révolution solaire; cet aimable premier de l'an, si fêté en tout temps par les enfants et même par les jeunes filles, se voyait chaque année renvoyé à un autre point de l'écliptique, et l'on ne savait jamais positivement où le prendre. Nous devons aux Romains de lui avoir enfin assigné une date précise, celle du 1er janvier. Cette date ne fut adoptée en France qu'en 1564; sous Charles IX, l'année commençait à Pâques. Les Mahométans continuent de placer le commencement de l'année à l'époque où le Soleil entre dans le signe du Bélier; les Persans, dans le mois qui répond à notre mois de juin; les Chinois et les Orientaux, à la première nouvelle lune de mars, et les Mexicains, au rapport de d'Acosta, fixent au 23 février, temps auquel la verdure se renouvelle au Mexique, ce premier de l'an qu'embellissent alors les charmes du printemps.

« La division du temps connue sous le nom de semaine, et du jour en vingt-quatre heures, remonte à l'antiquité la plus reculée. Quoique la semaine ne fût pas une division de l'année, cette division indique le plus ancien système d'astro-

nomie. Nous devons cette recherche à Dion Cassius.

« Les anciens, qui regardaient la Terre comme un point immobile, regardaient encore le Soleil comme une planète. Saturne était pour eux la plus éloignée, parce qu'elle met plus de temps à revenir au point d'où elle est partie; ensuite Jupiter, Mars, le Soleil, Vénus, Mercure, la Lune. Les signes suivants les représentent dans leur ordre de distance à la Terre :

♄	♃	♂	☉	♀	☿	☾
Saturne.	Jupiter.	Mars.	Soleil.	Vénus.	Mercure.	Lune.
Samedi.	Jeudi.	Mardi.	Dimanche.	Vendredi.	Mercredi.	Lundi.

« Ils consacraient donc la première heure du samedi à Saturne, qui donnait son nom au jour entier; ils consacraient la deuxième heure à Jupiter, la troisième à Mars, la quatrième au Soleil, la cinquième à Vénus, la sixième à Mercure, la septième à la Lune; on reprenait ensuite les planètes dans le même ordre; ainsi, la huitième heure du samedi était encore consacrée au vieux Saturne, la neuvième à Jupiter, etc., jusqu'à la quinzième, qui était encore pour Saturne, ainsi que la vingt-deuxième; la vingt-troisième était pour Jupiter et la vingt-quatrième pour Mars; la vingt-cinquième, ou la première du *jour suivant*, appartenait au Soleil, etc. » (M. Arago).

Tu vois, ma sœur, qu'à cette époque *la semaine* n'était pas encore *inventée;* mais on se trouvait sur la voie. D'après Gassendius, elle se

composait, chez les anciens Grecs, de dix jours, de neuf jours chez les Romains, tandis que, chez les Juifs, elle n'était que de sept jours. Cette dernière manière de nombrer la semaine ayant été introduite parmi les Romains, du temps de l'empereur Théodose, et définitivement adoptée, ce fut alors que l'on consacra chacun des sept jours de la nouvelle semaine à chacune des sept *prétendues* planètes; car cinq seulement doivent porter ce nom; ainsi, il y eut le jour du Soleil, *Dimanche;* le jour de la Lune, *Lundi;* celui de *Mars,* Mardi; celui de *Mercure,* Mercredi; celui de *Jupiter,* Jeudi; celui de Vénus, *Vendredi;* celui de Saturne, *Samedi.* Je n'ai pas besoin de te rappeler, à toi qui sais l'anglais, les mots de *Sunday, Monday* et de *Saturday,* et encore moins de te les expliquer; quant aux mots de *Tuesday, Wednesday, Thursday* et *Friday,* ils viennent évidemment des noms saxons *Tuisco, Woden, Thor* et *Friga,* qui sont ceux de Mars, de Mercure, de Jupiter et de Vénus.

On doit à un astrologue la petite figure que voici (1). La composa-t-il pour aider la mémoire de quelque prince, qui ne pouvait rattacher les noms des planètes et leurs signes représentatifs aux jours de la semaine? ou bien eut-il en vue quelque talisman cabalistique? L'histoire ne le dit pas; dans tous les cas, ce semainier, découvert

(1) Planche II, figure 4.

par M. Arago, est fort joli. Tu pars de la ☽ Lune, lundi, et tu tires une ligne qui te conduit à ♂ Mars, mardi; de Mars, tu tires une autre ligne qui te conduit à ☿ Mercure, mercredi; de Mercure, une autre ligne te conduit à ♃ Jupiter, jeudi; une autre ligne te conduit à ♀ Vénus, vendredi; de Vénus, une autre ligne te conduit à ♄ Saturne, samedi; et enfin, une dernière ligne te conduit au ☉ Soleil, *dies Solis*, ou dimanche.

Les Grecs anciens avaient divisé l'année en douze mois; mais c'étaient des mois lunaires, et ils les comptaient alternativement de vingt-neuf et de trente jours. Aristophane, dont la verve satyrique ne respectait rien, fait raconter dans sa comédie des *Nuées*, à l'un de ses personnages qui arrive d'Athènes, qu'il vient de souper avec Diane (la Lune), et que la déesse est furieuse de ce qu'on a si mal réglé sa marche dans les cieux. Les changements faits par les philosophes tendent, dit-elle, à bouleverser toute la nature et à mettre le monde sens dessus dessous; déjà il n'est plus possible de s'y reconnaître. Mais Diane n'est pas la seule à se plaindre. Les nouveaux arrangements imaginés par les philosophes ont produit de tels changements, que les Dieux ne savent plus où ils en sont. Lorsqu'ils descendent sur la Terre aux époques fixées jadis pour leur fête, ils trouvent leurs temples fermés, leurs autels sont déserts; l'encens, le sang des victimes

ne fument pas, et ils sont obligés de regagner l'Olympe sans avoir soupé.

Ce petit échantillon de l'audace d'Aristophane doit servir surtout, ma sœur, à te faire remarquer l'antipathie que les poètes ont, comme le vulgaire, pour les idées nouvelles, et à te faire comprendre que Jules César, que le pape Grégoire XIII dûrent rencontrer plus d'un obstacle, lorsque tous deux tentèrent la réforme du calendrier. Mais l'un et l'autre, étant armés de la puissance souveraine, prêtèrent à la science un ferme appui, et la postérité reconnaissante se souviendra à jamais du service qu'ils ont rendu à l'humanité.

A la mort de Jules César, Marc Antoine, l'un des triumvirs, imposa au mois de *Quintilis,* dans lequel Jules César était né, le nom de *Julius,* dont nous avons fait *Juillet;* le mois *Sextilis* reçut le nom d'*Augustus,* en mémoire de l'empereur Auguste, et ces deux appellations sont restées. Mais vainement Néron donna son nom au mois d'avril; vainement Domitien donna le sien au mois d'octobre; ces noms exécrés ont disparu du calendrier en même temps que les monstres qui les portaient disparurent de la terre. Aujourd'hui, le calendrier grégorien est adopté, même en Angleterre.

Il me semble que, maintenant, tu pourras lire avec plaisir les détails que tu as passés, sans nul doute, dans ton traité d'astro-

nomie, et que j'omets ici, sur les travaux entrepris pour arriver à établir une mesure certaine du temps, au moyen des mouvements des corps célestes; je t'engage donc à recourir à tes livres d'étude, et à rendre un juste hommage à tant de recherches faites dans un but d'utilité générale; leur résultat a été de nous donner un calendrier qui n'est pas encore parfait, sans doute, mais qui est l'un des monuments les plus remarquables de la puissance intellectuelle et de la persévérance de l'homme.

DOUZIEME CAHIER.

FIGURE DE LA TERRE.

« A quoi bon, dira-t-on, s'occuper éternellement de la figure de la Terre?

« Il faut remarquer que depuis que la question est discutée, elle a bien changé de face. Il s'agissait, du temps d'Erathostène, de déterminer le contour géographique de la terre supposée ronde par tous les anciens; aujourd'hui, ce n'est plus cela. On veut savoir, non qu'elle n'est pas ronde

tout à fait, mais de combien il s'en manque qu'elle ne le soit; on peut encore vouloir s'enquérir si sa matière était liquide ou solide quand elle a commencé à prendre la forme que nous lui connaissons; si elle s'est solidifiée graduellement; si la force centrifuge, qui est à son *maximum* à l'équateur et nulle aux pôles, diminue graduellement, et dans quelles proportions, en approchant du pôle, et augmente en se rapprochant de l'équateur. Quelque certitude que puissent avoir les procédés employés jusqu'ici, on peut ne pas s'en contenter et en chercher de plus exacts encore ou de plus expéditifs; le progrès des lumières et le perfectionnement des instruments, perfectionnement indéfini, tout nous invite à désirer plus de rigueur dans les résultats des observations. » (M. Arago.)

Nous n'en sommes pas encore là, ma Laurette, et, n'en étant point là, nous nous contenterons pour le moment, n'est-ce pas, de voir comment peu à peu la figure de la Terre s'est dessinée, pour ainsi dire, aux yeux de l'être intelligent qu'on appelle homme.

Après avoir trouvé, par la marche des corps célestes, la mesure du temps, on avait trouvé l'indicateur de cette mesure, le *garde-temps*, l'horloge enfin, cette ingénieuse machine qui donne, comme le dit un poète, les *pulsations du temps*. Pour régulariser ces pulsations, on se servait du balancier ou pendule, dont l'idée pré-

mière était due à Galilée, mais dont l'application fut faite par Huygens aux horloges; Huygens avait démontré comment, en faisant décrire certains arcs au pendule, on peut rendre ses oscillations parfaitement *isochrones,* c'est-à-dire égales en durée; à cette époque, au dix-septième siècle, on possédait déjà en France des horloges bien supérieures à *la merveille* envoyée, au neuvième siècle, par le pape Paul I[er], au roi de France Pépin-le-Bref, et même au carillon de la Samaritaine. Ces horloges ne marquaient pas, comme celle établie à Padoue par Jean Dondis, surnommé Jean *des Horloges*, le cours du Soleil et celui des planètes, suivant le *système* qu'on se formait, au quatorzième siècle, du *système* du monde; mais elles étaient devenues *portatives*, et elles donnaient l'heure, la minute, la seconde avec une régularité remarquable; on avait enfin des montres; aussi les observations astronomiques acquéraient-elles une précision jusqu'alors inconnue.

«En 1671, Richer fut envoyé à Cayenne pour y faire des observations sur la parallaxe de Mars. Il était muni d'une excellente horloge bien réglée à Paris; elle battait les secondes; à Cayenne elle retardait de *deux minutes* par jour; revenue à Paris, cette même horloge avançait, par jour, de la même quantité qu'elle retardait à Cayenne. Il en conclut que la lentille était *moindre* à Cayenne et qu'elle y descendait avec moins de

vitesse au centre de la Terre qu'à Paris où elle devait faire quatre-vingt-six mille quatre cents oscillations. » (M. Arago.)

Je ne sais, ma sœur, si tu as remarqué ce que fait l'horloger quand il vient régler la pendule chez notre mère. Au moyen d'un fil de soie auquel est suspendu le balancier ou pendule, il rallonge ou il raccourcit la tige de fer qui supporte la lentille en cuivre; si la pendule retarde, il raccourcit le fil de soie en le roulant sur une espèce de bobine; les oscillations du pendule sont alors plus rapides, et la pendule ne retarde plus; si elle avance, il allonge le fil de soie en le déroulant, et les oscillations du pendule étant plus lentes, la pendule n'avance plus. Richer, afin d'obtenir, à Cayenne, le même nombre d'oscillations qu'à Paris, quatre-vingt-six mille quatre cents par jour, fut obligé d'y raccourcir le pendule de son horloge, et de le rallonger de la même quantité à son retour en France.

A l'époque où ce fait eut lieu, on n'était pas en état d'en tirer la conséquence; cette conséquence, la voici: c'est que la pesanteur agissant sur le pendule comme elle agit sur tous les corps tombants, et cette pesanteur étant moindre à mesure que ces corps se trouvent plus éloignés du centre de la Terre, il fallait, puisque le pendule marchait moins vite à l'équateur qu'en France, c'est-à-dire puisque la pesanteur le sollicitait moins, qu'en ce lieu on se trouvât plus

loin du centre de la Terre, que le sol fût plus élevé à l'équateur qu'en France, et que, par conséquent, le globe terrestre ne fût pas une sphère parfaite.

Non-seulement personne n'arriva à cette conséquence, mais encore on contesta à Richer la justesse de son observation. On savait dès lors que la chaleur dilate les métaux et que le froid les resserre; on soutenait donc que si la tige du pendule avait dû être raccourcie à l'équateur, c'est que la chaleur qui règne sous la ligne l'avait allongée; que s'il avait fallu lui rendre, au retour en France, les dimensions qu'elle avait au moment du départ, c'est que le climat de la France étant moins chaud, le métal, en se resserrant, avait repris ses proportions premières; et les choses en restèrent là.

Quelques années après, Deshayes et Varin furent envoyés à l'équateur par ordre de Louis XIV, pour faire de nouvelles observations astronomiques. Le même fait mentionné par Richer se reproduisit, mais cette fois on trouva qu'il fallait accourcir bien plus qu'il ne l'avait dit, la tige du pendule.

De nouvelles expéditions scientifiques, ordonnées par le roi et l'Académie des sciences, au Pérou, dans l'Amérique du Sud, à la Martinique, à Saint-Domingue, à Sainte-Hélène, sur les côtes d'Afrique, à Gorée, près des îles du Cap-Vert, apportèrent de nouvelles preuves à l'appui de

ce fait, que le mouvement d'une horloge transportée à l'équateur diminue graduellement à mesure qu'on approche de ce point, et que plus on approche des pôles, plus ce mouvement augmente ; en d'autres termes, qu'il faut, vers l'équateur, raccourcir le pendule, ou bien l'horloge retarde; que, vers les pôles, il faut le rallonger, ou bien elle avance.

Huygens et Newton furent des premiers à comprendre la valeur de cette découverte et l'étendue de l'application qu'on en pouvait faire. Tous deux s'emparèrent donc de la vérité nouvelle, et, en la suivant dans toutes ses conséquences, ils arrivèrent à la solution du problème. Huygens conclut du raccourcissement du pendule, observé à l'équateur par Richer, que la pesanteur s'y trouve diminuée par la force centrifuge et que la Terre est nécessairement aplatie vers les pôles; ce fut aussi la conclusion de Newton. Restait à déterminer le *quantum* du raccourcissement du pendule. Je me garderai bien, ma Laurette, de te dire même un seul mot des calculs qui furent faits pour cette recherche; il te suffira sans doute de savoir que le nombre des oscillations exécutées par le pendule, dans un temps donné, est d'autant plus grand que l'action de la pesanteur est plus intense; ainsi le même pendule qui exécute un certain nombre d'oscillations aux pôles, en donnera un nombre sensiblement plus petit à mesure qu'on avancera

vers l'équateur ; veut-on le ramener à ce même nombre d'oscillations, il faut raccourcir la tige; plus cette tige est longue, plus le pendule oscille lentement ; plus elle est courte, plus il oscille vite; le *quantum* de ce raccourcissement a été, je le répète, l'objet des plus minutieuses recherches, et d'un nombre immense de calculs, tu dois le concevoir, et le résultat de ces recherches, de ces calculs a été tel, que Newton, suivant l'expression de Fontenelle, est arrivé, sans quitter son fauteuil, à déterminer la véritable figure de la Terre.

« La diminution qui a lieu dans l'intensité de la pesanteur, en allant du pôle à l'équateur, est due en partie à l'aplatissement de la Terre, mais bien plus encore à l'effet de la force centrifuge. Quant au premier point, les physiciens ont constaté que la Terre n'est pas une sphère parfaite, mais une sphère aplatie aux pôles et renflée à l'équateur. Il résulte de cette forme que les corps qui sont à l'équateur sont plus éloignés du centre d'attraction de la Terre que ceux qui se trouvent dans le voisinage des pôles; par conséquent ils seront un peu moins attirés que ces derniers. L'effet cependant n'est qu'à peine sensible. Pour comprendre l'action bien autrement importante de la force centrifuge, il faut se rappeler que la Terre tourne sur elle-même en vingt-quatre heures ; par conséquent tous les corps qui sont à sa surface, ou qui sont plongés dans son atmosphère, décrivent en même

temps des cercles qui vont en croissant du pôle à l'équateur. Ils acquièrent ainsi une force centrifuge d'autant plus grande qu'ils sont plus rapprochés de l'équateur. Mais la force centrifuge, qui tend à tout éloigner du centre de la Terre, est précisément opposée à la force de la pesanteur, dont l'effet est, au contraire, d'attirer tout ce qui se trouve sur la Terre dans la direction de son centre. Donc, l'intensité de la pesanteur doit diminuer à mesure qu'on approche de l'équateur, puisqu'elle est toujours plus combattue par la force centrifuge qui agit d'une manière précisément opposée.

« On a calculé qu'une masse de plomb qui, dans le voisinage de l'un des pôles, pèserait mille livres, perdrait près de cinq livres de son poids à l'équateur, en vertu de la force centrifuge; et, si la rotation de la Terre sur elle-même devenait tout à coup dix-sept fois plus rapide, la force centrifuge ferait équilibre à celle de la pesanteur, et les corps placés dans le voisinage de l'équateur ne pèseraient plus rien. » (M. Marcet.)

Tu penses bien, ma sœur, que ce n'est pas avec des poids et des balances ordinaires qu'on a pu établir ces termes de comparaison, puisqu'ils éprouveraient eux-mêmes, comme le corps à peser, l'influence de l'attraction locale, plus grande aux pôles, moindre à l'équateur, et de la force centrifuge, plus grande à l'équateur et moindre aux deux pôles; on a imaginé des in-

struments à l'aide desquels ces importantes vérités sont clairement démontrées.

Venons maintenant à l'hypothèse que notre globe a dû être fluide et se trouver primitivement recouvert en entier par les eaux.

« On a cherché quelle figure devait prendre un globe fluide qui se solidifierait graduellement. On ne peut donner ici les calculs qui ont été faits à cette occasion ; on se borne seulement à indiquer l'esprit de la méthode que l'on a suivie. Toutes les molécules, soit solides, soit fluides, pèsent vers le centre de la Terre; mais qu'un mouvement soit imprimé au globe terrestre, les molécules liquides, étant moins adhérentes les unes aux autres que les molécules solides, se déplacent plus facilement, et cèderont plus tôt à la force centrifuge, résultat du mouvement de rotation, qui est à son maximum entre les deux pôles et nul aux pôles mêmes. Huygens avait trouvé, par de longs calculs, qu'il devait y avoir, entre les deux axes de notre globe, une différence de un cinq cent soixante-dix-huitième. Newton traita le même objet en cherchant la solution du problème d'un globe fluide qu'il présentait comme une simple hypothèse, et trouva une quantité plus du double de celle trouvée par Huygens.

« Ce fut Maclaurin, compatriote de Newton, qui osa le premier assurer positivement qu'il était impossible de se refuser à l'idée que la masse du

globe eût été originairement fluide. Enfin, Clairault, de l'Académie des sciences, est arrivé, par le calcul, à un résultat différent des deux autres. Suivant lui, la quantité de la différence entre les deux axes est un trois cent sixième; quantité plus grande que celle trouvée par Huygens, et moindre que celle trouvée par Newton. (M. Arago.) »

Nous nous en tiendrons, ma chère Laure, à ce terme moyen qui donne un trois cent sixième pour l'aplatissement de la Terre aux deux pôles, et nous serons tentés, il me le semble du moins, de croire à la fluidité primitive du globe; fluidité qui s'accorde parfaitement avec tous les phénomènes qu'il nous présente.

Nous pouvons présumer que les autres planètes ont dû être également fluides, et que, comme notre globe, elles ont été soumises aux mêmes lois qui ont déterminé le renflement du globe à l'équateur et son aplatissement aux deux pôles, puisque nous remarquons ce même renflement et ce même aplatissement sur Jupiter surtout. Pour cette planète, ces deux effets sont plus marqués que pour toutes les autres.

Vois cependant, ma sœur, ce qu'a produit l'observation faite par Richer avec une sorte de timidité!... Le génie de deux hommes s'en empare, et la figure de la Terre est démontrée!

TREIZIÈME CAHIER.

MESURE DE LA TERRE.

Tu sais, comme tout le monde, ma sœur, que la circonférence du globe terrestre est de neuf mille lieues, et que son diamètre est d'un peu moins de trois mille lieues; mais as-tu songé jamais à te demander de quelle manière l'homme a dû s'y prendre pour mesurer un corps si étendu? Arpenter la Terre comme on arpente un jardin, des prés, des champs!... Est-ce possible? Les

montagnes, les rivières, l'océan sont, en certains cas, des obstacles insurmontables pour l'arpenteur, quel que soit le zèle dont on le suppose animé. Et cependant, il est important, il est utile de connaître la mesure de ce globe que nous habitons.

Les anciens avaient compris cette utilité. D'après le témoignage d'Hérodote et de quelques autres historiens, ses devanciers, des tentatives furent faites par les mathématiciens les plus célèbres de l'antiquité pour mesurer le globe. Entreprise audacieuse, tu le reconnaîtras, si tu réfléchis aux moyens matériels fort bornés que possède l'homme qui ose la tenter ; mais si les moyens matériels sont bornés, ceux que fournit l'intelligence sont, pour ainsi dire, sans limites.

Ptolémée, dans son *Almageste,* a conservé les mesures données par Hyparque, par Erathostène et par Posidonius; mais il paraîtrait qu'avant ces philosophes, des essais avaient été déjà faits. Malheureusement, on n'en peut tenir compte, parce que les mesures sont réduites en coudées ou en stades, et l'on ne sait pas positivement aujourd'hui de quelle longueur était le stade et la coudée. Nous laisserons donc de côté les travaux des anciens, et nous passerons à ceux des modernes.

Je t'avouerai, ma sœur, qu'ici l'*auteur s'embarrasse.* Non-seulement tu n'as pas la plus légère idée de géométrie et de trigonométrie, mais

tu ne veux même pas en entendre parler; or, je trouve dans mes cahiers, des chiffres, des angles et des verticales. N'aie pas peur, du moins pour le moment; il faudra bien que, plus tard, nous fassions connaissance avec les propriétés merveilleuses de l'angle; mais alors ton attention sera soutenue par la curiosité que, depuis longtemps, tu éprouves de savoir *comment* l'homme a pu arriver à déterminer la distance où nous nous trouvons des astres.

C'est en mesurant un arc ou un degré du méridien terrestre qu'on est parvenu à mesurer la terre. « Un méridien terrestre est une ligne passant par les pôles et dont tous les points ont leur midi en même temps.... Si la Terre est une sphère, tous les degrés seront de la même longueur; tandis que, pour peu qu'elle diffère de la forme sphérique, les degrés seront d'autant plus longs que la courbure sera moindre. La comparaison des longueurs du degré sur différents points de la surface de la Terre détermine donc sa *grandeur et sa forme* (1). »

Ceci posé, voyons le point de départ.

« Fernel, médecin français, est le premier, entre les modernes, qui ait mesuré un arc du méridien en comptant le nombre de tours de roue de sa voiture de Paris à Amiens. (Tu dois comprendre, ma sœur, que *la valeur* en *pieds*

(1) Connextion des sciences, traduction par Mme Tullie Meulien.

de la *circonférence* d'une roue de voiture doit donner la *longueur* en pieds du terrain qu'elle a parcouru quand elle vient d'accomplir un tour entier sur l'essieu ; chaque tour accompli donne donc une longueur de tant de pieds ; on sait combien la toise renferme de pieds, combien la lieue renferme de toises ; reste à établir combien un arc du méridien, ou un degré, renfermera de lieues). Ce moyen est très-grossier ; la roue glisse quelquefois sans tourner sur l'essieu. D'ailleurs il y a une foule de sinuosités et d'inflexions dont il faut tenir compte ; et toutefois son résultat approche beaucoup de celui qu'on obtient et qu'on a obtenu par des procédés plus exacts et plus rigoureux ; les erreurs en plus et en moins se sont compensées de manière à rendre ce calcul fort approché de la vérité. — Picard est le premier astronome français, attaché à l'observatoire de Paris, qui ait mesuré avec précision l'arc du méridien entre Paris et Amiens, en procédant à cette mesure par des opérations trigonométriques. — Le procédé de la triangulation ou enchaînement des triangles, est aujourd'hui le moyen qu'on emploie généralement ; on fait usage du cercle répétiteur et du théodolite pour la mesure des triangles. (M. Arago.) »

Voici donc, ma sœur, une méthode trouvée et des instruments inventés pour cette opération du *toisé* de la Terre. Nous qui ne sommes que

des amateurs incapables d'entrer dans les détails de l'opération, nous allons nous occcuper seulement des résultats, et du résultat de ces résultats.

Louis XIV ordonna, après que Picard eût mesuré un arc du méridien, que l'arc entier passant par la France serait mesuré de la même manière ; et cette entreprise, confiée aux soins de Picard, de Lahire et des frères Cassini, fut terminée en 1718. A cette époque, on n'était pas généralement convaincu de la non-sphéricité de la Terre, bien que Huygens et Newton eussent démontré que le globe n'était pas et ne pouvait pas être sphérique. Dominique Cassini avait seul accepté la démonstration de cette non-sphéricité; mais persuadé de la supériorité des moyens employés pour mesurer l'arc du méridien en France, et les regardant comme bien plus certains qu'une théorie qui ne reposait que sur des calculs, il proclamait qu'en effet la Terre n'était pas une sphère, puisqu'elle se trouvait *aplatie à l'équateur* et *renflée aux deux pôles.*

Je te vois d'ici sauter sur ta chaise, tant tu es maintenant persuadée que c'est positivement le contraire, n'est-il pas vrai, ma sœur?

Il n'était pas possible de laisser indécise une si grave question. Par ordre du roi, il fut décidé que deux commissions scientifiques seraient nommées par l'Académie des sciences; que l'une

irait mesurer à l'équateur un arc du méridien, que l'autre irait mesurer un arc du méridien au pôle nord, et que, du résultat de leurs travaux, on déduirait enfin la forme de la Terre.

Maupertuis, Clairault, Camus, Lemonnier et Outhier furent envoyés dans le nord de l'Europe; Godin, Bouger et La Condamine partirent pour le Pérou.

La commission scientifique chargée d'opérer au pôle, termina ses travaux en treize mois, non sans avoir eu à vaincre bien des obstacles. Maupertuis, aussitôt après son retour en France, publia un rapport plein d'intérêt sur ce voyage fait en Laponie, et dont le résultat était la mesure d'un degré du méridien terrestre au pôle.

Les académiciens envoyés dans l'Amérique du Sud travaillaient de leur côté; mais ils trouvaient, dans le Nouveau-Monde, des difficultés bien plus grandes, pour l'accomplissement de leur mission, que n'en avaient trouvées Maupertuis et ses collègues en Laponie. La première et la seconde commission étaient parties en 1736; en 1737, la première commission était de retour; la seconde ne revint qu'en 1741; elle apportait la mesure d'un arc du méridien prise dans la province de Quito... Le résultat des travaux des deux commissions fut que les degrés sont plus grands au pôle qu'à l'équateur. Aussitôt l'Académie se hâta de proclamer, « on a honte de l'avouer, que, puisqu'il fallait faire plus de

chemin au pôle qu'à l'équateur pour un degré, la Terre était allongée vers les pôles et aplatie à l'équateur ; on aurait dû conclure, au contraire, comme on l'a fait depuis, que puisqu'on faisait plus de chemin au pôle, c'est que l'arc terrestre était moins sensible, et, se rapprochant plus de la ligne droite, avait moins de courbure ; et que s'il fallait faire moins de chemin à l'équateur, c'est que la courbure y était plus prononcée. — Mais l'Académie ne tarda pas à reconnaître son erreur, qui est consignée dans quelques mémoires qui susbsistent encore. Dès lors il fut reconnu que la Terre a plus de courbure à l'équateur et moins aux pôles, ce qui rapproche sa forme de celle de Jupiter et de Saturne ; seulement, la différence des deux arcs de Jupiter est de un quatorzième, tandis qu'elle n'est, pour la Terre, que de un trois cent sixième.» (M. Arago.)

Ainsi donc, voilà la figure de la Terre déterminée, non plus seulement par la théorie reposant sur des chiffres, mais par *le toisé* de l'arc du méridien terrestre.

Tu diras peut-être : tout cela me donne seulement ce que je sais déjà, la figure de la Terre ; mais, sa *mesure*, mon frère ?

« La Terre n'est pas un objet que nous puissions saisir, ni dont nous puissions nous éloigner de manière à embrasser ses dimensions d'un coup d'œil, et à les comparer à un étalon de mesure qui ne leur soit pas disproportionné.

Condamnés comme nous le sommes à nous traîner à sa surface, à appliquer successivement nos petites mesures sur une portion comparativement très bornée de cette surface même, il faut que nous suppléions, par le raisonnement géométrique, à l'imperfection de nos moyens physiques, et que le soin apporté à la mesure des parties en compense la petitesse, lorsqu'il s'agit d'en conclure la forme et la dimension de la masse. Le problème présenterait peu de difficultés si nous étions certains que la Terre est ronde; car, connaissant le rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre, il suffirait d'avoir la longueur de la circonférence d'un grand cercle, d'un méridien, par exemple, exprimée en lieues, mètres ou tout autre unité, pour pouvoir assigner, en unités de même espèce, la grandeur du diamètre. D'un autre côté, pour connaître la longueur de la circonférence entière, il suffit d'avoir mesuré exactement une de ses parties aliquotes, telle qu'un degré, qui en est la trois cent soixantième partie. Or, un degré du méridien n'ayant pas moyennement plus de vingt-cinq lieues de longueur, est susceptible d'une mesure exacte, et peut, en effet, être mesuré exactement à quelques mètres, ou même à quelques décimètres près, pourvu qu'on connaisse bien les deux points extrêmes.

« Concevons donc que nous avons mesuré une ligne avec le plus grand soin, à partir d'une sta-

tion donnée, en marchant toujours dans le plan d'un méridien, jusqu'à ce que nous soyons certains, par quelque indication, que nous avons décrit exactement un degré, et le problème sera résolu. Tout se réduit donc à savoir comment nous pouvons être sûrs, 1° *d'avoir avancé exactement d'un degré ;* 2° *d'avoir mesuré exactement dans la direction d'un grand cercle.*

« La surface terrestre ne porte aucune indication de degrés, ni aucune trace qui puisse nous guider. La boussole, qui dirige passablement les marins et les voyageurs, est sujette à trop d'irrégularités et à des lois trop imparfaitement connues pour être employée dans de semblables recherches. C'est donc à des signaux naturels, extérieurs à notre globe, doués au même degré que lui de permanence et de stabilité, que nous devons rapporter notre situation à sa surface. Les étoiles sont pour nous de tels signaux ; leurs hauteurs méridiennes, que nous pouvons observer à chaque station, et leurs distances polaires, qui sont connues, nous donnent la hauteur du pôle qui est égale à la latitude de la station. Si donc nous trouvons de la sorte que notre latitude a diminué d'un degré d'une station à l'autre, nous serons sûrs d'avoir décrit un trois cent soixantième de la circonférence de la Terre, pourvu que nous ayons suivi constamment le plan du méridien. — Tel est le principe de la

plus importante opération géodésique, la mesure d'un arc du méridien (1). »

Si, à présent que tu connais *le principe*, ma chère Laure, tu supposes des instruments appropriés à l'observation, tu dois deviner que ce qui, au premier aperçu, t'a paru être impossible, devient possible.

L'observateur place sa lunette astronomique verticalement, direction dont il s'assure au moyen du fil à plomb, et il observe une étoile en ce moment au zénith ; puis il se rend, avec *armes et bagages*, de cette station à une autre station, et il y observe la même étoile; en ce lieu, elle n'est pas au zénith; le fil à plomb l'indique en s'écartant de la lunette, et fait, avec l'instrument, un petit angle; la valeur de l'ouverture de cet angle est donnée par l'indice que porte la lunette, et, de l'ouverture de cet angle, on conclut combien il y a de degrés de la première station à celle où l'on se trouve actuellement. Si, par exemple, l'ouverture de l'angle est d'un degré, on conclut qu'un degré est l'intervalle entre les deux stations où a été faite l'observation. Veut-on savoir combien ce degré contient de lieues? on mesure la distance qui sépare ces deux stations au moyen d'une chaîne d'arpenteur; si l'on trouve vingt-cinq lieues, on est en *droit* de se dire: le degré étant la trois cent soixan-

(1) Traité d'Astronomie d'Herschell, traduction de M. Cournot.

tième partie de la circonférence de la Terre, il suffit de multiplier ce nombre par vingt-cinq lieues, pour avoir un résultat de neuf mille lieues.

A ta place, ma Laurette, je trouverais que ces *explications* ne sont pas suffisantes parce qu'elles n'*expliquent* pas *tout*; sais-tu ce que je ferais trouvant cela? je reprendrais courageusement mes livres, et j'étudierais sérieusement certaines choses que je n'avais fait qu'effleurer, que j'avais passées peut-être en me disant: à quoi bon lire ce que je ne peux pas comprendre?

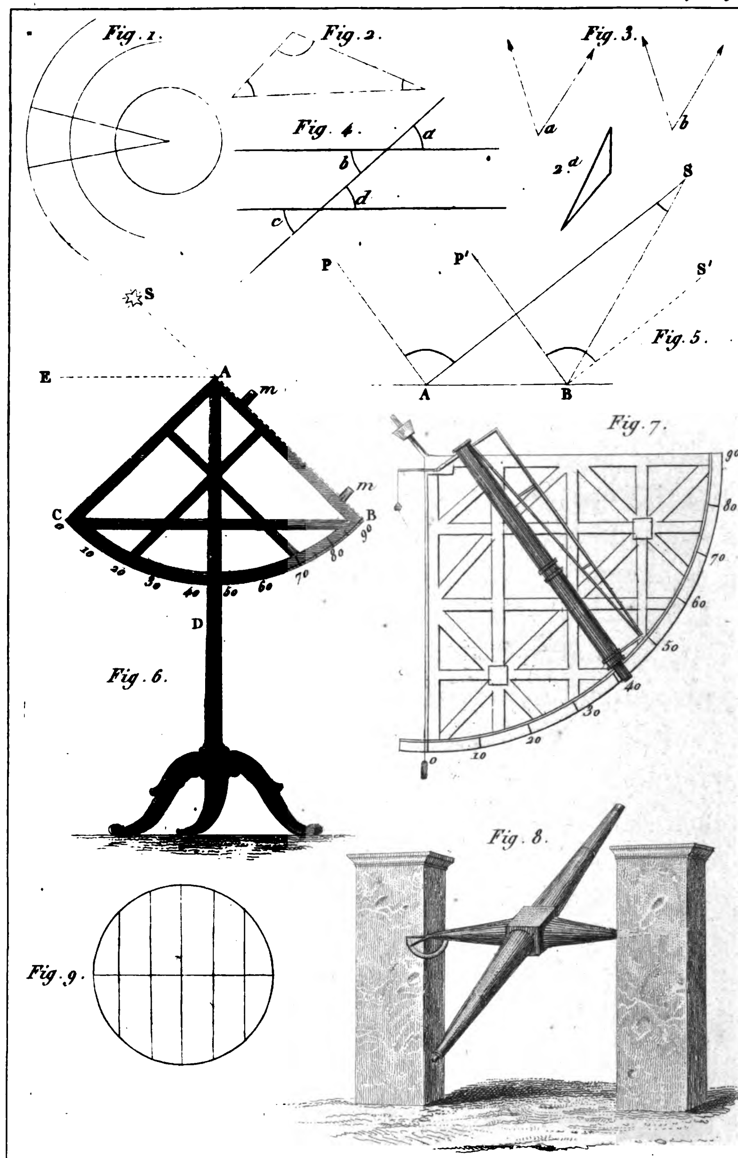
Ce qu'une tête humaine a pu comprendre, une autre tête humaine peut le comprendre à son tour. Essaie, et tu reconnaîtras que rien n'est plus vrai; essaie, et tu trouveras de nouveaux sujets d'admirer et le génie de l'homme, et le courage qui lui fait surmonter tous les obstacles, et les ressources que la nécessité fait éclore sur sa route!

QUATORZIÈME CAHIER.

DISTANCE DE LA TERRE A LA LUNE ET AU SOLEIL.

QUELLE que soit ton aversion, ma sœur, pour les géomètres en général, tu es trop juste, je pense, pour n'avoir pas déjà reconnu que, sans eux, sans leurs travaux, la figure et la mesure de la Terre seraient encore ignorées ; et cette forme, et cette mesure ont servi à trouver la solution de bien des problèmes de la plus haute importance.

Hérodote, surnommé le père de l'histoire, place en Egypte le berceau de la géométrie, et la montre comme étant en usage dès le temps de Sésostris. De l'Egypte, elle fut importée en Grèce par Thalès de Milet. Thalès ne se contenta pas de la science aquise dans le berceau de toutes les sciences, il l'enrichit de plusieurs découvertes, et, le premier, il fit usage de la circonférence du cercle pour la mesure des angles; le premier, il détermina la hauteur des pyramides par l'étendue de leur ombre. Platon, le divin Platon, fut lui-même géomètre à ce point, qu'à son retour en Grèce, après avoir visité l'Egypte et l'Italie, il fonda une école dans laquelle il donna la géométrie pour base à l'instruction, et il mit cette inscription sur la porte: *Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre!* Je ne te parlerai pas d'Euclide, d'Archimède, ni de tant de grands géomètres anciens et modernes auxquels les sciences doivent leurs progrès rapides et la découverte des plus belles vérités; mais je te dirai que sans la géométrie, mot formé des deux mots grecs, *gé*, terre, et *metron*, mesure, l'homme n'aurait pas songé, après avoir mesuré son champ, pied par pied, toise par toise, à mesurer la Terre, à mesurer les Cieux! Permets donc qu'on te fasse faire connaissance avec l'angle au moins et ses merveilleuses propriétés. Viens, assieds-toi là, et écoute; ne vois-tu pas M. Arago à l'estrade?



G. Montaut del. et sc.

« Tout le monde connaît le cercle et la circonférence qui limite l'espace contenu dans le cercle. Il existe, dans son intérieur, un point qui est également éloigné de toutes les parties de la circonférence.

« Celle-ci a été divisée en 360 parties, qu'on appelle degrés. Ainsi un degré est un trois cent soixantième de la circonférence.

« Veut-on avoir l'idée d'un degré? c'est, sur la Terre, un espace d'environ 25 lieues.

« Le degré se divise en 60 minutes. La minute est encore, sur la Terre, un espace notable; elle est de 900 toises.

« A mesure que le cercle s'agrandit (1), les parties dont il se compose s'agrandissent aussi. Dans les espaces célestes, un degré répond à un espace double du diamètre de la Lune. La Lune a un diamètre de un demi degré (ou 1600 lieues environ).

« L'angle est l'inclinaison de deux lignes qui se rencontrent. On l'évalue par le nombre de degrés ou de portions de degrés comprises entre leurs côtés.

« Tout triangle a trois côtés et trois angles, qui valent ensemble 180 degrés; en sorte que si, sur les trois angles, on en connaît deux, le troisième sera toujours connu, puisqu'il est ce qui manque à la somme des deux autres pour faire 180 degrés.

(1) Pl. v, fig. 1.

« Ainsi, quand il s'agit de mesurer sur la Terre l'angle à la Lune, deux observateurs, dont l'un au midi de l'Espagne, l'autre en Suède, à mille lieues l'un de l'autre, peuvent apprécier les deux angles sur la base terrestre. Si l'angle qui reste à noter est grand, c'est que la somme des deux autres est petite; c'est que l'objet, la Lune, par exemple, est près. Si, au contraire, il n'est presque rien, c'est que l'objet est très-éloigné, comme le Soleil, par exemple, dont l'angle n'est que de 8". On serait tenté de croire que l'angle au Soleil est nul, si les instruments des astronomes étaient moins parfaits.

« Quelque forme bizarre qu'on puisse donner au triangle (1), les trois angles valent toujours 180 degrés, comme il est facile de s'en assurer en portant chacun d'eux au centre d'un cercle gradué d'avance.

« Quand il s'agit de la distance des astres à mesurer, on construit une base qu'on trace sur la terre. Ainsi, par exemple, la base ou la distance entre les deux observateurs, dont l'un est placé en Espagne et l'autre en Suède, étant de mille lieues, si l'angle sous lequel ils ont aperçu la Lune, l'un, celui qui est en Espagne en étant plus près, comme on suppose la Lune au midi, si cet angle diffère de un quatre vingtième, on multiplie la base de mille lieues par quatre-vingt, et l'on a la distance de la Lune.»

(1) Pl. v, fig. 2-2 *a*.

Cette distance, ma sœur, est donc de 80 mille lieues. M. Arago a employé ici un nombre rond pour rendre plus sensible la démonstration, mais il a appris à son auditoire que la distance moyenne de la Lune est de 95 mille lieues.

Comprends-tu maintenant, ma Laurette, les merveilleuses propriétés de l'angle? Comprends-tu comment, armé de ces merveilleuses propriétés, l'homme a pu mesurer la distance qui le sépare de son satellite et du Soleil?

« Avant de déterminer la distance du Soleil à la Terre, il y a deux propositions de géométrie indispensables à savoir : 1° deux angles dont les côtés sont parallèles sont égaux, puisque, les superposant, les côtés se confondraient (1); 2° deux parallèles, coupées par une sécante, font des angles égaux (2). Les angles *a* et *d* sont égaux; les angles *a* et *b*, opposés par le sommet, sont égaux; les angles *b* et *d*, alternes internes, sont donc égaux. »

Prie mon père de regarder avec toi les figures de cette planche. Tu es encore si complétement étrangère aux propositions les plus simples de la géométrie, que tu pourrais bien t'effrayer de ces figures, et te dire à l'avance que tu es hors d'état d'y rien comprendre; excellent moyen de n'y rien comprendre en effet.

« Voici la construction graphique qu'on fait pour mesurer la distance du Soleil à la Terre (3) :

(1) Pl. v, fig. 3, *a b*.
(2) Pl. v, fig. 4.
(3) Pl. v, fig. 5.

«Deux observateurs *a* et *b*, situés sur le même méridien terrestre, se placent ainsi aux deux extrémités de la ligne *a b*, de 1500 lieues, égale au rayon de la Terre. Ils déterminent, l'un et l'autre, avec un mural, l'angle que le Soleil, à son passage au méridien, forme avec l'étoile polaire. L'un de ces deux observateurs *a*, projette cette étoile en *P* et détermine l'angle *P a S;* l'observateur *b* projette la même étoile en *P';* la ligne *b P'* est *parallèle* à la ligne *a P;* et il mesure l'angle *P' b S*, plus petit que l'angle *P a S* trouvé par le premier observateur. Ce qui intéresse le plus les deux observateurs qui se communiquent le résultat de leurs opérations respectives, est l'angle en *S* qu'ils n'ont ni l'un ni l'autre. Menant donc la ligne ponctuée *b S'*, je dis que l'angle en *S* est égal à l'angle *S b S'*, comme étant alterne interne des deux côtés de la sécante, entre deux parallèles; or, on trouve que cet angle *b* est de 8'',6; donc l'angle en *S* a cette mesure; donc encore le rayon *a b* de la Terre, de 1500 lieues, vu du Soleil, soutendrait un angle de 8", 6. Mais pour qu'un objet quelconque soit vu sous un pareil angle, la géométrie enseigne qu'il faut en être éloigné de 23578 fois sa valeur. Il ne s'agit donc plus que de multiplier le rayon de 1500 lieues par 23578, ce qui fait environ 35,000,000 de lieues. Si l'objet, au lieu d'être de 1500 lieues, était d'une ligne, d'un pied, d'une lieue, il faudrait toujours qu'on en

fût éloigné de cette quantité, de 23578 lignes, pieds ou lieues. Il vaut mieux dire que le Soleil est éloigné de 23578 rayons terrestres, quelle que soit la longueur de ce rayon.

« C'est cet angle en *S* qui est la parallaxe solaire ; c'est la *différence* des deux angles mesurés par les deux observateurs, puisque l'angle *P' b S* augmenté de l'angle *S b S'* est égal à *P a S*.

« L'épaisseur du fil délié de la lunette couvre entièrement cet angle de 8'', 6. Cette quantité est moyenne entre 8'', 5 ce qui est trop peu, et 8'', 7 ce qui est trop. L'incertitude, quand il s'agit du Soleil, peut aller à un dixième de seconde, ce qui fait une différence ou erreur de 400,000 lieues, tandis que cette erreur, quand il s'agit de la Lune, n'irait au plus que de neuf à dix lieues. » (M. Arago).

Voilà donc, ma sœur, le *comment* on opère ; voilà donc *comment* cette proposition géométrique, *deux angles d'un triangle étant connus, on connaîtra toujours le troisième*, se trouve vérifiée ; mais ces deux éléments ne suffiraient pas, tu viens de le voir, si l'on ne connaissait pas, en outre, l'un des côtés du triangle ; ce côté, c'est la *base*, c'est la ligne *a b* sur laquelle les deux observateurs opèrent ; la longueur de cette base étant connue, donne le multiplicateur ; et *la différence* des deux angles, mesurés par les deux observateurs, donne l'angle *cherché*,

c'est-à-dire le complément de la somme de 180° que doivent fournir les trois angles d'un triangle.

On ignore qui, le premier, eut l'idée de l'instrument appelé quart de cercle; quant au quadrant ou sextant dont le quart de cercle est le *père*, comme il est le *père* de presque tous les instruments employés par l'astronomie, les uns l'attribuent à Hadley, les autres à Newton. Le sextant sert à prendre la distance angulaire de deux objets, ou la hauteur d'un seul, soit en mesurant la distance à l'horizon visible, tel que l'indiquent les limites de la mer, soit au moyen de la réflexion de l'objet lui-même sur un miroir. Le sextant, n'exigeant pas de support fixe, peut être tenu à la main et employé, par conséquent, à bord d'un vaisseau; aussi le sextant et un autre instrument appelé octant ont-ils été jugés les plus convenables dans les applications de la théorie aux usages nautiques.

Mais je n'essaierai pas de te donner l'explication du sextant, à toi, ma petite sœur, qui ne sais rien encore de la lumière directe et de la lumière réfléchie, ou du moins presque rien. Je te montrerai seulement le *père* de tant d'instruments, un quart de cercle monté sur un pied.

Tu as remarqué, je m'en souviens, le quart de cercle gravé sur de la corne blanche et transparente que renferme mon étui de mathématiques. Le *limbe*, c'est-à-dire la partie arrondie ou la

circonférence, en est divisé en degrés et en minutes. Tu retrouveras les mêmes divisions sur le quart de cercle que voici (1), de *C* en *B*. Au sommet *A*, est une pointe à laquelle est suspendu un fil à plomb *D*. Ce quart de cercle est mobile sur le pied qui le supporte. Tu places ton œil en *m*, et tu fais mouvoir le quart de cercle jusqu'à ce que ton œil rencontre, par les deux pinnules *m m*, l'étoile dont tu veux connaître la hauteur; puis tu marques le degré indiqué sur le limbe par le fil à plomb *A D*, et tu as la hauteur cherchée; car les angles *S A C* et *E A D*, étant tous deux des angles droits, si de chacun des deux tu déduis l'angle commun *E A C*, il te restera l'angle d'élévation *E A S*, égal à l'angle *C A D*; cet angle *E A S* est de quarante-cinq degrés, puisque c'est sur le quarante-cinquième degré du limbe que tombe le fil à plomb. Tu aurais de même un angle de trente-neuf degrés, de trente-huit degrés neuf dixièmes, cinq dixièmes, un dixième, suivant que le fil à plomb tomberait sur l'une de ces divisions lorsque tu fais mouvoir le quart de cercle; l'ouverture de cet angle une fois connue, tu saurais quelle est la hauteur angulaire de l'étoile au-dessus de l'horizon indiqué par la lettre *E*.

Quelle admirable simplicité, n'est-il pas vrai, ma sœur, et que nous devons de reconnaissance

(1) Pl. v, fig. 6.

à celui qui, le premier, fit cette belle découverte!

Le *quart* de cercle mural que voici (1), et qu'on a remplacé depuis par *le cercle mural*, est surnommé *mural* parce qu'il est attaché solidement à une muraille dont les fondations pénètrent profondément dans le sol. Ici, le cercle n'est pas mobile, comme dans la première figure; c'est le télescope qu'on fait mouvoir, et le fil à plomb indique de même l'ouverture de l'angle à mesurer. Le cercle mural étant de beaucoup supérieur au quart de cercle pour l'exactitude des observations, celui-ci ne se voit plus dans les observatoires que comme objet de curiosité.

L'instrument des passages des astres au méridien, la lunette méridienne que te présente cette figure (2), est destiné à observer le Soleil surtout, au moment précis où il passe au méridien. C'est un télescope dont l'axe mobile est supporté par deux piliers solidement établis afin de prévenir toute déviation de l'instrument de la direction qui lui est donnée, direction qui est le plan du méridien. Le télescope se meut sur son axe, et l'élévation plus ou moins grande des corps célestes se trouve indiquée sur un index placé à l'extrémité gauche de l'axe. Au moyen de cet index, l'astronome connaît, avec

(1) Pl. v, fig. 7.
(2) Pl. v, fig. 8.

la dernière précision, à quelle distance du zénith se trouve l'astre observé.

La lunette méridienne étant de la plus haute importance pour les observations astronomiques, je crois devoir te donner ici un extrait de ce qu'en dit Herschell (1).

« L'instrument avec lequel on observe les *culminations* (ou passages) des corps célestes, se nomme *instrument des passages.* Il consiste en un télescope solidement attaché à un axe horizontal dirigé vers les points est et ouest de l'horizon, perpendiculairement au plan du méridien du lieu de l'observation. Les extrémités de l'axe sont des pivots cylindriques, de diamètres parfaitement égaux, reposant sur des entailles pratiquées dans des supports métalliques: ces supports, lorsqu'il s'agit de grands instruments, reposent à leur tour sur de forts piliers de fer et sont susceptibles d'être exactement ajustés, à l'aide de vis, tant dans le sens vertical que dans le sens horizontal. Par le premier ajustement on rend l'axe parfaitement horizontal, ce qu'on reconnaît au moyen d'un niveau fixement adapté aux pivots. Le second ajustement a pour objet de mettre l'axe bien exactement dans la direction est et ouest; ce qu'on reconnaît par les observations elles-mêmes faites avec l'instrument ajusté, au moyen d'un objet bien terminé appelé *mire méridienne*,

(1) Traduction de M. Cournot.

placé à grande distance, exactement dans la ligne méridienne menée par le centre de l'appareil; mire dont primitivement les observations ont déterminé l'emplacement et qu'on a ensuite fixée d'une manière permanente et pour la commodité des observations subséquentes. Il est évident, d'après cette description, que si la ligne centrale du télescope (celle qui joint les centres de l'objectif et de l'oculaire, et qu'on nomme en astronomie *ligne de collimation*) a été bien ajustée à angles droits sur l'axe de l'instrument, elle ne doit jamais quitter le plan du méridien quand l'instrument tourne sur son axe.

« Au foyer de l'oculaire, et perpendiculairement à la ligne centrale du télescope, est placé un système de cinq fils verticaux équidistants (également espacés) avec un fil horizontal (comme tu le vois ici, ma sœur) (1), fils que l'on aperçoit constamment dans le *champ de la vision*, éclairé de jour par la lumière des nuées, la nuit par une lampe, au moyen d'un appareil qu'il n'est pas besoin d'expliquer ici. Ce système de fils est ajusté avec des vis qui lui permettent un mouvement latéral (horizontal), et on le fixe de manière que le fil vertical coupe la ligne de collimation du télescope. Dans cette situation, il est clair que le fil moyen est une représentation sensible de la portion du méridien céleste sur laquelle le télescope est pointé; de sorte que,

(1) Pl. v, fig. 9.

lorsqu'une étoile croise ce fil, elle passe au méridien céleste. L'instant de ce phénomène se trouve indiqué par le pendule ou chronomètre qui est l'accompagnement indispensable de l'instrument des passages. Pour plus de précision, on note les instants où l'étoile croise chacun des fils verticaux; et comme ils sont équidistants (à égale distance) on prend la moyenne : le résultat serait le même que celui donné par le fil moyen, si toutes les observations étaient parfaites, et cette combinaison a l'avantage d'atténuer les erreurs en les répartissant sur l'ensemble des cinq observations. »

Tu viens de prendre, ma sœur, par tout ce qui précède, un aperçu des moyens dont se sert l'astronome et de l'exacte précision exigée dans l'observation; le sujet n'est qu'effleuré, tu le conçois; mais à présent, du moins, tu peux commencer à *croire* qu'on a *vu* et bien *vu*, et que les *vérités* enseignées par la science sont *vraies*. Comme je ne veux pas qu'il te reste le moindre doute à ce sujet, je consacrerai encore un cahier à te *prouver* que l'homme a pu, avec *son compas*, mesurer la distance des astres à notre globe et trouver, sur ce grain de sable, l'échelle, l'étalon qui lui a servi de multiplicateur pour te donner en chiffres *positifs*, comme le sont toujours les chiffres, cette distance qui n'est plus dès lors incommensurable!

QUINZIÈME CAHIER.

PASSAGE DE VÉNUS SUR LE CENTRE DU SOLEIL.—DISTANCE DES PLANÈTES AU SOLEIL ET A LA TERRE.—MESURE DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE.

« La détermination de la distance du Soleil à la Terre, par la méthode directe de la parallaxe, peut donner lieu à de grandes erreurs, car, pour peu que l'on se trompe d'une seconde dans les éléments du calcul, et de telles erreurs sont difficiles à éviter, le résultat devient très-défectueux; l'erreur peut aller jusqu'à un huitième de la distance totale, et c'est une quantité considérable.

« Cette détermination est beaucoup plus juste par la méthode indirecte des passages de Vénus sur le disque du Soleil.

« Deux observateurs, *A* et *B* (1), se placent en deux stations très-éloignées l'une de l'autre, mais autant que possible dans le plan de l'orbite de Vénus ; toutefois, si cette dernière condition se trouvait impossible à remplir, on pourrait toujours, par des procédés puisés dans la géométrie, ramener la position réelle des deux observateurs à cette position mathématique. Alors ils observent l'un et l'autre, à jour et heure convenus, le moment où la planète est au centre du Soleil. Il est clair que la planète est en *d* pour l'observateur *A* quand il la projette sur le centre du Soleil, et qu'elle est en *c* pour l'observateur *B* quand celui-ci la projette sur ce même centre *S*. Ils tiennent, l'un et l'autre, la note exacte du moment où la planète leur aura paru atteindre ce centre ; ensuite ils se communiquent leurs observations respectives. Comme on connaît la quantité dont Vénus se déplace, dans sa révolution, par heure, minute et seconde, on connaîtra aisément l'angle en *S* qui est la parallaxe solaire.

« De même, au lieu d'observer *le moment* où Vénus est *au centre du disque*, il suffit d'observer *le moment* où *elle arrive* tangentiellement

(1) Pl. VI, fig. 7.

au bord du Soleil, et le moment où elle reparaît *au bord opposé;* de cette manière on saura ce qu'*elle aura employé de temps* à parcourir le diamètre du disque, et l'on aura de même *la mesure* en *S*.

«Il faut remarquer que plus la base de la station des deux observateurs aura d'étendue, plus l'observation sera facile à faire, parce qu'une grande échelle donne moins lieu aux erreurs qu'une petite.» (M. Arago.)

Dis-moi, ma sœur, si l'homme ne fait pas une application admirable de cette mesure en temps, que lui ont fournie les mouvements des corps célestes, à la mesure des distances qui nous en séparent? Cette mesure en temps lui est à chaque instant indiquée avec la dernière précision par des chronomètres, par des montres à secondes qui sonnent jusqu'à un dixième de seconde, ou qui l'*inscrivent* sur le cadran au moment précis du passage de l'astre au méridien; un ressort est poussé, et une pointe a pris et déposé la gouttelette d'encre qui indiquera l'heure, la minute, la seconde, le dixième de seconde auxquelles le passage aura eu lieu; ou bien, au moyen d'un mouvement d'horlogerie, des billes passeront dans le champ de la lunette à chaque seconde, et l'astronome, privé de l'usage de l'ouïe, l'astronome, qui ne peut plus entendre l'horloge à seconde, *verra passer* chacune de celles qui s'écoulent, et pourra les noter; puis, cette mesure

en temps étant donnée, la géométrie vient prêter à l'homme les merveilleuses propriétés du triangle, et la mesure en distance est trouvée!

«Les passages de Vénus sont fort rares, les intervalles qui les séparent, étant alternativement de huit et de cent treize ans environ. — Sans entrer dans un détail qui nous mènerait trop loin, nous avons voulu signaler un exemple admirable de la manière dont de très-petits éléments astronomiques peuvent être amplifiés dans leurs effets, et montrer comment, en les mesurant sur une échelle considérablement agrandie, ou bien en substituant le temps à l'espace (à cet espace qui nous manque ici-bas où la plus grande mesure que nous possédions, fais-y attention, ma sœur, est le double rayon terrestre ou diamètre de la terre, et enfin, le diamètre de l'orbite terrestre), et en mettant à profit les combinaisons favorables, on peut les déterminer avec le degré désirable de précision. Ce genre d'observation avait paru d'une telle importance aux astronomes que, lors du dernier passage de Vénus, en 1769, des expéditions en grand pour les contrées les plus éloignées du globe avaient été commandées dans ce but spécial par les gouvernements d'Angleterre, de France, de Russie et par d'autres. La célèbre expédition du capitaine Cook à Otahiti fut de ce nombre. Le résultat de toutes les observations, faites dans cette circonstance mémorable, a donné, pour la parallaxe horizontale du Soleil, 8″,5776.» (Herschell.)

Ainsi donc l'observation directe de la parallaxe et l'observation indirecte par le passage de Vénus au centre du Soleil, ont produit le même résultat; le Soleil, vu de la Terre, soutend un angle de 8″ 1/2, tandis que la Lune soutend un angle de 60′. L'angle sous lequel nous voyons la Lune, étant beaucoup plus grand, il en résulte que la Lune est de beaucoup plus près de nous que le Soleil; elle ne se trouve qu'à la distance de soixante rayons terrestres, c'est-à-dire de 60 fois 1500 lieues, tandis que le Soleil est à la distance de 23578 rayons terrestres, ou de 23578 fois 1500 lieues.

Maintenant, ma sœur, que tu as entrevu l'usage à faire de la valeur de l'angle et des propriétés du triangle, tu peux en croire tes livres d'étude, lorsqu'ils te donnent la distance moyenne des planètes au Soleil et à la Terre, et tu dois être assurée que les calculs, qui sont résultés de l'observation, sont d'une parfaite précision.

C'est surtout aujourd'hui, ma chère Laure, que tu vas payer à Kepler le juste tribut d'admiration qui lui est dû, parce qu'aujourd'hui tu es en état de comprendre l'importance de ce que son génie lui fit découvrir. Écoute ce que dit Herschell à ce sujet:

« Lorsque nous jetons les yeux sur la liste des distances des planètes au Soleil, et que nous la comparons avec celle des temps périodiques, nous ne pouvons manquer de reconnaître une

certaine correspondance. Les plus grandes distances répondent évidemment aux plus longues périodes. Les planètes sont rangées dans le même ordre, sous le rapport des distances au Soleil, comme sous le rapport des temps périodiques, et cet ordre est le suivant, en commençant par la planète la plus rapprochée du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, les quatre planètes ultra-zodiacales, Jupiter, Saturne, Uranus. En examinant les nombres plus attentivement, nous voyons que la relation entre les deux séries n'est pas celle d'un simple accroissement proportionnel. Les périodes croissent plus rapidement que les distances.— Mais il fallait que l'illustre Kepler fût doué d'une pénétration extraordinaire, et qu'il y joignît une persévérance et une adresse peu communes, pour apercevoir et démontrer la véritable relation, à une époque où les données du problème étaient encore enveloppées d'obscurité, et où les calculs numériques et trigonométriques étaient entravés par des obstacles dont l'invention plus récente des tables de logarithmes nous a ôté jusqu'à l'idée. La relation, découverte par Kepler, est comprise dans l'énoncé suivant : *Les carrés des temps périodiques des planètes sont entre eux dans le même rapport que les cubes de leurs moyennes distances au Soleil.*

«De toutes les lois auxquelles l'homme a été conduit par la simple observation, cette troisième

loi de Kepler (on la nomme ainsi) peut être regardée, à juste titre, comme la plus remarquable et la plus féconde en conséquences importantes. Lorsque nous contemplons maintenant les parties constituantes du système planétaire, ce n'est plus une simple analogie qui nous frappe, ni une ressemblance générale entre des êtres individuels et indépendants les uns des autres, rattachés chacun au Soleil par des liens particuliers. La ressemblance que nous apercevons est un véritable lien de *famille :* elle unit, par des rapports harmoniques, tous les membres de ce grand système dont les planètes et la Terre font partie, en attestant l'existence d'une commune influence qui s'étend depuis le centre jusqu'aux limites les plus reculées du système.

« La loi du mouvement des planètes dans des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers, celle de l'égalité des aires décrites par le rayon vecteur mené du Soleil à chacune des planètes, ont été primitivement établies par Kepler, d'après l'observation des mouvements de Mars ; et il les avait étendues, par analogie, à toutes les autres planètes. Quelque précaire que cette extension pût paraître, l'astronomie moderne l'a complétement vérifiée, en prouvant que l'on satisfait généralement à toutes les observations des lieux apparents des planètes, si on leur assigne à toutes, pour orbite, des ellipses particulières. »

Et ce grand homme est mort dans la misère !

Et ce grand homme a connu les horreurs de la faim!... Tel est trop souvent ici-bas le lot du génie qui devance les siècles!... La misère ou la persécution!... Mais Dieu, dans sa justice, lui donne des joies inconnues au vulgaire; des joies que le langage ne peut exprimer, et les souffrances matérielles cessent de se faire sentir; et l'homme de génie, enivré par ces joies célestes qu'éveille la découverte de la vérité, oublie qu'il n'a pas même du pain! Il jouit, tandis que le passant, ne voyant que ses haillons et le sceau de la faim empreints sur son front chauve, sur ses traits hâves, dit: C'est un fou!... Oui, c'est un fou, sans doute, puisqu'il ne suit pas cette voie où se précipite quiconque n'a en vue que la fortune; mais c'est un fou sublime, digne de la vénération des siècles à venir! un fou dont un jour le pays qui l'a vu naître glorifiera la folie et se stigmatisera lui-même en apprenant au monde que cet homme n'a trouvé jadis dans sa patrie ni une main amie pour adoucir sa noble misère, ni un toit pour abriter sa tête, ni, après lui, un asile pour ses enfants restés orphelins!...

Tu te rappelles, ma chère Laure, que j'ai omis à dessein, dans le premier tableau synoptique que je t'ai donné de la durée de la rotation et de la révolution des planètes et de leur vitesse dans leurs orbites, leurs distances au Soleil et à la Terre; je crois devoir compléter maintenant ce tableau.

PLANÈTES.	DISTANCE AU SOLEIL EN LIEUES.	DISTANCE A LA TERRE EN LIEUES.
Mercure... ☿	13,455,000	21,309,000
Vénus...... ♀	25,133,000	9,629,00
La Terre.. ♁	34,762,000	
Mars........ ♂	52,477,000	18,215,000
Vesta ..... ⚶	82,489,000	47,727,000
Junon...... ⚵	92,509,000	57,747,000
Cérès...... ⚳	96,186,000	61,424,000
Pallas..... ⚴	96,220,000	61,458,000
Jupiter..... ♃	180,865,000	146,003,000
Saturne.... ♄	331,592,000	296,830,000
Uranus .... ♅	666,833,000	632,071,000

Dans ton aversion profonde pour tout ce qui *sent les mathématiques*, tu n'auras certainement pas cherché à te rendre compte de *la valeur* de la singulière loi de Bode sur les distances respectives des planètes au Soleil. Permets-moi donc d'appeler ton attention sur ce moyen mnémonique de retenir ces nombres ou de les trouver sur-le-champ. Voici ce que dit à ce sujet M. Arago :

« Ce n'est pas une progression véritable ni arithmétique, ni géométrique, à cause du premier terme, *zéro*, mais c'est un moyen mnémonique et commode de retenir l'ordre entre les anciennes planètes. Il est remarquable que cet ordre, au moins quant aux quatre premiers termes, est aussi celui des distances des satellites, en sorte

que la distance du quatrième satellite de Jupiter se trouve être quadruple de celle du premier, et que la distance du troisième est égale à la somme des distances des deux premiers. »

Tu conviendras, ma sœur, que ce moyen mérite pourtant d'être examiné.

Il consiste à ajouter 4 à chacun des chiffres suivants, et dont la progression, comme tu peux le remarquer, va toujours en *doublant* depuis le chiffre 3.

0	3	6	12	24	48	96	192
4	4	4	4	4	4	4	4
☿	♀	♁	♂	Vesta, Junon, Cérès, Pallas.	♃	♄	♅

Ce nombre 4 ajouté, te donne, pour le premier terme et pour les suivants :

4	7	10	16	28	52	100	196

Multiplie maintenant chaque nombre par celui de 3 millions, et tu auras *à peu près* les distances des planètes au Soleil; chose que tu peux vérifier au moyen du tableau synoptique que je viens de tracer.

Voilà donc la distance des planètes au Soleil et à la Terre connue avec la dernière certitude. Nous verrons plus tard comment leur volume, ou leur diamètre, et leurs densités ont été trouvés avec la même exactitude. Mais dès à présent je te rappellerai ce que nous a déjà enseigné

Kepler, que leur densité diminue proportionnellement à l'augmentation de la distance; ainsi Mercure, le plus proche voisin du Soleil, est la plus dense de toutes les planètes, tandis que Jupiter, placé à cent quatre-vingts millions huit cent soixante-cinq mille lieues du centre d'attraction, n'a que la densité du liége. Je te rappellerai encore que leur vitesse, dans leurs orbites, diminue aussi en raison directe de leur densité et de leur distance; ainsi Jupiter, qui n'a que la densité du liége, marche beaucoup moins vite dans son orbite que Mercure, dont la densité est celle du vif-argent ou mercure.

Je veux terminer ce cahier en appelant ton attention sur un fait émis précédemment, celui de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter pour trouver la longitude; tu vas voir la découverte qui est résultée de l'observation de ce phénomène ou de ce fait. Tu la connais déjà, mais peut-être n'en auras-tu pas été frappée autant que je le désire.

« Il résulte des rapports qui existent entre les mouvements moyens et les longitudes moyennes des trois premiers satellites, qu'ils ne peuvent jamais être éclipsés tous à la fois. Car, lorsque le second et le troisième sont dans une position quelconque, le premier est dans la direction opposée; conséquemment quand le premier est éclipsé, les autres doivent être entre le Soleil et Jupiter.

« Le moment du commencement ou de la fin d'une éclipse d'un satellite marque le même instant de temps absolu à tous les habitants de la Terre; il en résulte que le temps de ces éclipses, observé par un voyageur, et comparé au temps de l'éclipse, calculé pour un méridien déterminé, donne la différence des méridiens en temps, et, par conséquent, la longitude du lieu de l'observation.

« Les éclipses des satellites de Jupiter ont donné lieu à une découverte qui, sans être aussi immédiatement applicable aux besoins de l'homme, ne laisse pas cependant que d'offrir un très-grand intérêt en expliquant l'une des propriétés de la lumière, ce milieu sans la bienfaisante influence duquel toutes les beautés de la création auraient été perdues pour nous. On a observé que ces éclipses du premier satellite, qui ont lieu quand Jupiter est près de la conjonction, retardent de 16 26′, 6 sur celles qui ont lieu quand la planète est en opposition.

« Comme Jupiter est plus près de nous de toute la longueur de l'orbite de la Terre quand il est en opposition que lorsqu'il est en conjonction, la différence doit être attribuée au temps employé par les rayons de lumière pour traverser l'orbite de la Terre, c'est-à-dire une distance de 70 millions de lieues environ; d'où l'on déduit que la lumière a une vitesse de 77 mille lieues par seconde. Telle est la rapidité

de sa course, que la Terre, qui se meut avec une vitesse de 6 lieues un quart par minute, mettrait deux mois à parcourir la distance qu'un rayon de lumière parcourt en huit minutes. La découverte postérieure de l'aberration de la lumière a confirmé ce résultat surprenant (1). »

Ainsi donc, ma sœur, la lumière n'est pas instantanée, comme l'avait cru Galilée ; elle a un mouvement progressif, de telle sorte que si, par exemple, le Soleil *s'éteignait*, nous le verrions encore huit minutes *après* qu'il se serait éteint, et que s'il se *rallumait*, il ne nous apparaîtrait de nouveau que huit minutes *après* l'instant où il serait redevenu lumineux. On peut donc affirmer que telle étoile qui s'éteint pour nous, était éteinte dans les espaces depuis des années, et que telle autre qui nous apparaît, existait sans doute au firmament depuis la création ; elle ne brille maintenant pour nous que parce que la lumière, parcourant 77 mille lieues par seconde, a eu besoin, pour franchir l'espace qui nous sépare du centre d'où elle émane, de quelques mille ans !

(1) De la connexion des sciences physiques ; traduction de Mme Tullie Meulien, publiée sous les auspices de M. Arago.

SEIZIEME CAHIER.

QUELQUES MOTS SUR LA LUMIÈRE.

J'AURAIS voulu, ma sœur, te donner ici dans leur entier les belles leçons de M. Arago sur la lumière; mais je ne les possède pas complètes dans mes notes, et mon respect pour l'illustre professeur ne me permet pas de diviser par fragments un ensemble si bien coordonné, si brillant et si digne du plus beau talent. Il faut pourtant que je te dise quelques mots de la lu-

mière et de ses propriétés; propriétés que, par l'observation et par le calcul, on a su découvrir. Ce sujet se lie trop étroitement à l'astronomie pour qu'il soit possible de le passer sous silence.

Dès les temps anciens, l'homme s'est préoccupé de la nature de la lumière. Quelques nations civilisées la considéraient comme une propriété inhérente aux premiers principes des choses, ce qui ne signifie rien du tout; d'autres affirmaient que c'était une matière émanant de notre œil; proposition qui appartient évidemment à cette espèce de gens qu'on voit toujours empressés de prononcer sur ce qu'ils ignorent, et dont l'assurance éblouit et persuade presque toujours la multitude.

Les écrivains sacrés nous apprennent que la création de la lumière eut lieu quatre jours avant la création du Soleil; telle fut la croyance des philosophes de l'antiquité puisqu'ils professaient que le Soleil n'est point la source de la lumière, et qu'il n'est destiné qu'à la projeter dans l'espace; Newton, au contraire, la regardait comme une émanation des corps lumineux; comme une espèce de pluie d'atomes lumineux lancée par le Soleil avec une très-grande vitesse.

« Descartes, et, après lui, Huygens et un grand nombre de physiciens ont cru que c'est un fluide extrêmement ténu, dont les mouvements agissent sur notre œil de la même manière que les

vibrations de l'air agissent sur notre oreille. La sensation de la lumière serait donc produite en nous par des ondulations excitées dans un milieu très-élastique et propagées jusqu'à notre œil. Ce milieu, s'il existe, doit remplir tous les espaces célestes, puisque c'est à travers ces espaces que la lumière des astres parvient à nos yeux; il doit être aussi très-élastique, puisque la transmission de la lumière s'opère avec une si grande vitesse; et, en même temps, il doit être très-rare (ou extrêmement peu dense), puisque la comparaison la plus exacte des observations astronomiques anciennes et modernes n'indique, dans les mouvements planétaires, aucune trace sensible de résistance.—Si l'on conçoit un corps qui ait la faculté d'exciter un ébranlement instantané dans un point d'un tel milieu, supposé d'abord également dense dans toute son étendue, cet ébranlement s'y propagera sphériquement, suivant les mêmes lois que dans l'air, à la vitesse près, qui devra être beaucoup plus rapide. Chaque molécule du milieu ébranlé sera donc aussi ébranlée à son tour et rentrera ensuite dans le repos; si ces ébranlements se répètent dans le même point, il en résultera, comme dans l'air, une suite d'ondes analogues aux ondes sonores. La formation des différentes couleurs, la réflexion, la réfraction et d'autres phénomènes s'expliquent par cette analogie des ondes lumineuses et des ondes sonores. Il peut encore arriver que ces ondes

se rencontrent de façon à ce que leur éclat lumineux s'ajoute ou se détruise, en sorte que deux rayons lumineux produisent alternativement de la lumière ou de l'ombre. Cette rencontre des ondes lumineuses a pris le nom d'*interférence* (de *inter*, entre, et de *ferre*, porter; c'est à l'interférence qu'est attribué le phénomène de la scintillation des étoiles). On a calculé que, lorsque deux portions égales de lumière, dans des circonstances exactement semblables, ont été séparées et coïncident de nouveau, à peu près dans une même direction, elles s'ajoutent l'une à l'autre ou se détruisent mutuellement, selon la différence des temps employés dans leurs trajets séparés.

« Les physiciens admettent généralement cette nouvelle théorie de la propagation de la lumière par des ondes éthérées. M. Arago, auquel la théorie de la lumière doit d'ingénieuses observations et d'heureuses découvertes, s'en est montré le plus zélé partisan. (Louvet.) »

J'ajouterai, ma sœur, que M. Arago fait des expériences, on ne peut plus curieuses, au moyen d'un miroir auquel est imprimé un mouvement de rotation de *deux mille tours par seconde*, pour arriver à démontrer que, si la lumière est une ondulation et non pas une émanation, un rayon lumineux, en passant dans l'eau, doit avoir la même vitesse qu'en passant dans l'air; c'est-à-dire que le rayon lumineux, dont une moitié

passe par l'air et dont une moitié passe par l'eau, arrive *à la fois*, et dans *son entier*, sur l'écran destiné à le recevoir, si la lumière est une ondulation; tandis que, si c'est une émanation, la partie du rayon lumineux, passant par l'eau, arrivera en dernier sur l'écran, et le rayon sera ainsi divisé, visiblement, en une première partie, celle qui passe par l'air, et en une seconde partie, celle qui passe par l'eau.

Voyons, maintenant, quelques-unes des lois qui régissent la lumière.

De même que l'attraction terrestre diminue proportionnellement au carré de l'accroissement de la distance, de même diminue aussi la lumière, et, lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre, il se réfracte, c'est-à-dire qu'il se détourne de sa route, plus ou moins, suivant qu'il arrive plus ou moins obliquement à la surface qui sépare ces deux milieux. Tu connais l'expérience d'une pièce d'argent mise dans une tasse, et qu'on rend visible, *dans la partie du vase où elle n'est pas,* en remplissant d'eau celui-ci. Plonge dans l'eau un bâton, une baguette, si tu l'aimes mieux, cette baguette te *paraîtra* brisée à partir de la surface de l'eau, parce que tu verras la partie qui plonge plus élevée qu'elle ne l'est réellement; ces effets sont dus à la réfraction. Le rayon lumineux, qui entre obliquement dans l'eau, en sort obliquement dans une autre direction et forme l'*angle d'in-*

cidence, dont tu as quelquefois entendu parler, sans chercher à te rendre compte de ce que ces mots pouvaient signifier. Ce phénomène n'a point lieu, si le rayon lumineux tombe *perpendiculairement* à la surface du milieu plus dense dans lequel il pénètre.

De la réfraction de la lumière résulte, tu dois le deviner, le phénomène qui nous fait voir les corps célestes dans le *lieu apparent*, dans le lieu où ils ne sont pas, lorsque les rayons lumineux qu'ils projettent passent, du milieu rare de l'éther, dans le milieu plus dense appelé atmosphère. Ces rayons lumineux arrivant obliquement, sont réfractés, et alors nous apparaissent les *images* du Soleil, des étoiles, tandis que le Soleil et les étoiles sont encore au-dessous de l'horizon; c'est seulement quand ils sont au zénith, que nous les voyons dans le *lieu vrai*.

Sans l'atmosphère, la lumière n'éprouverait pas de réfraction, et, sans la réfraction, les rayons du Soleil nous arrivant directement, il paraîtrait brusquement au moment de son lever, et disparaîtrait de même au moment de son coucher; mais, grâce à l'atmosphère, ont lieu la réfraction et la réflexion de la lumière, d'où résultent bien des *trompe-l'œil*, l'aurore, le crépuscule et ces aberrations qui portent l'image des corps célestes dans le *lieu apparent*.

Le pouvoir réfringent de l'atmosphère était connu, selon ce qu'en rapportent les historiens,

avant Ptolémée ; mais le premier qui en détermina les effets et qui s'en servit pour rectifier les observations astrononiques, fut Tycho-Brahé. Il calcula la valeur de la réfraction horizontale, et il reconnut qu'elle était d'environ 33' ; valeur qui se trouve à peu près confirmée par les observations faites depuis ce grand astronome ; mais il ne sut pas expliquer la cause du phénomène ; il se perdit dans les vapeurs qu'il supposait flottantes dans l'atmosphère, et dans les différences qu'il voulut établir entre la réfraction solaire et la réfraction stellaire.

Dominique Cassini a démontré la fausseté de toute cette doctrine ; il a calculé la réfraction pour toutes les hauteurs, et il a prouvé qu'elle va en diminuant de l'horizon au zénith.

Je t'ai dit tout à l'heure, ma Laurette, un mot de la réflexion de la lumière. Tous les corps la réfléchissent ou la transmettent. Les uns sont opaques, tels les métaux, le bois ; d'autres sont diaphanes, tels l'air, l'eau, le verre ; d'autres enfin sont translucides, tels le papier mince, le verre dépoli, etc., etc. Tu comprends bien qu'ils ne la réfléchissent pas tous de la même manière ; de là vient que les métaux t'apparaissent sous un autre aspect que le bois, et que l'air, le plus diaphane de tous les corps, te demeure invisible quand il est en petites masses : « Mais les rayons de lumière réfléchis par toutes les couches de l'atmosphère, produisent une impres-

sion sensible; ils le font voir avec une couleur bleue qui répand une teinte de même couleur sur tous les objets épars dans le lointain et qui forme l'azur céleste. Cette voûte bleue, à laquelle les astres semblent être attachés, est donc fort près de nous; elle n'est que l'atmosphère terrestre, et c'est à d'immenses distances au delà que tous ces corps sont placés. Les rayons solaires que des molécules nous renvoient en abondance avant le lever et le coucher du Soleil, forment l'aurore et le crépuscule qui, s'étendant à plus de vingt degrés de distance de ces astres, nous prouvent que les molécules extrêmes sont élevées au moins de 60 mille mètres. (Laplace.) »

Ainsi donc, la réflexion de la lumière concourt, avec la réfraction, à nous donner les plus magnifiques spectacles. A ces phénomènes, il faut ajouter ceux produits par la dispersion de la lumière. C'est Newton qui a répandu le plus vif éclat sur cette branche de la physique.

« L'appareil, au moyen duquel Newton a démontré clairement les lois de la dispersion des couleurs qui se produisent à chaque réfraction, est un prisme de verre triangulaire, posé sur une de ses bases; quand la lumière passe dans ce prisme, chaque rayon y est réfracté deux fois, à la surface antérieure et à la surface postérieure, c'est-à-dire en entrant et en sortant. Par ce double effet, la réfraction et la dispersion

des couleurs, augmentent beaucoup, et il devient très-facile d'examiner la lumière réfractée, à telle distance que l'on veut, derrière le prisme, en la recevant sur un écran. C'est surtout dans une chambre obscure qu'on obtient le plus curieux des phénomènes lumineux.

« Lorsque la pièce est parfaitement close et inaccessible à la lumière, on fait passer un cône mince de rayons solaires par une petite ouverture percée dans le volet d'une fenêtre, et l'on fait tomber ce cône sur l'une des surfaces du prisme. Cette lumière, après s'être réfractée deux fois, s'élargit d'autant plus qu'elle se prolonge davantage. Si elle est alors recueillie sur une paroi blanche et bien unie, opposée à l'ouverture du volet, on observe une image allongée qui n'est bien terminée nulle part, mais qui forme pourtant une espèce de parallélogramme dont les extrémités supérieures et inférieures paraissent des demi-cercles, quoique leurs contours soient très-indécis. L'image entière est environ cinq fois plus longue que large, et des couleurs différentes et très-vives marquent chaque point de sa hauteur. Ces couleurs semblent se fondre les unes dans les autres par des gradations insensibles, et cette dégradation continuelle de couleurs est si bien ménagée qu'on n'y peut guère distinguer que sept couleurs qui sont, dans cet ordre, de haut en bas : *violet*, *indigo*, *bleu*, *vert*, *jaune*, *orange*, *rouge*. Cette image

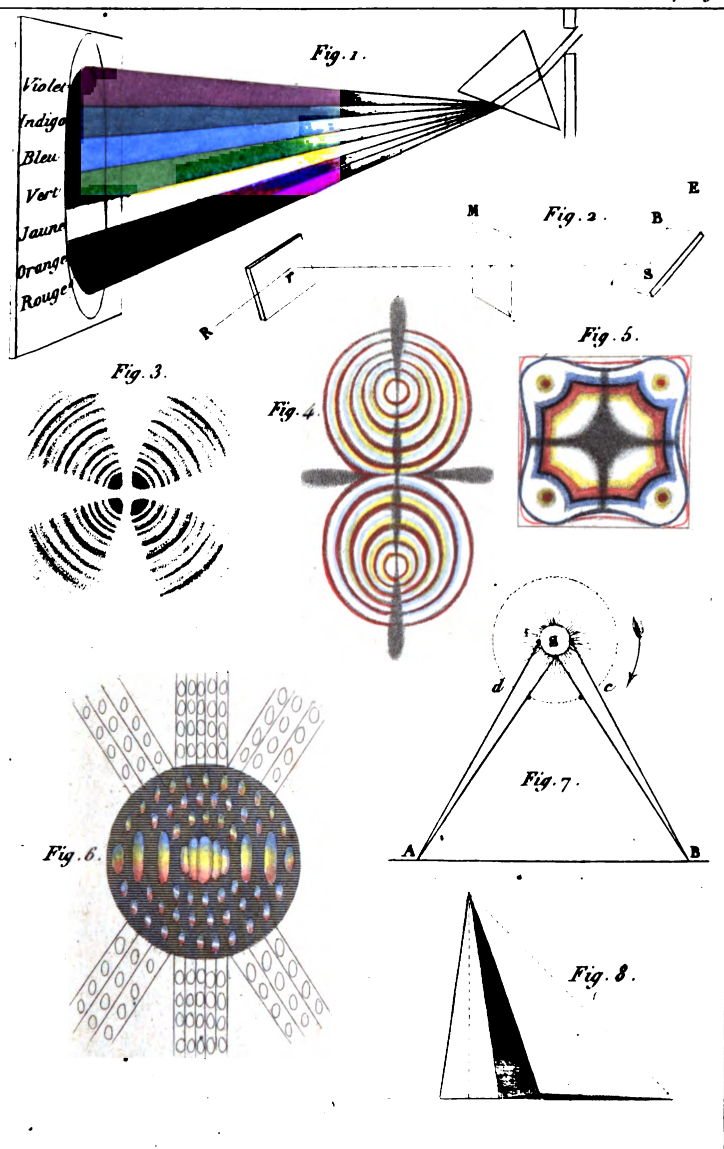
des couleurs se nomme le *spectre solaire*. Il faut la recueillir à une certaine distance du prisme, à quatre mètres au moins; plus la lumière est dilatée par l'éloignement, plus les couleurs sont distinctes.

« On doit concevoir le spectre solaire comme composé d'une infinité d'images du soleil, rondes et de différentes couleurs, placées les unes au-dessus des autres, de manière que chacune d'elles dépasse un peu celle qui la précède. Ces cercles innombrables sont d'un égal diamètre, et comme ils sont excessivement pressés, les lignes latérales produites par leurs continuelles intersections, paraissent droites et semblent, en quelque sorte, leurs tangentes communes.

« De l'expérience du prisme on doit déduire que la lumière blanche se divise, par la réfraction, en rayons de diverses couleurs, qui ont chacun une réfraction particulière. (Louvet.) »

Un mot à présent sur la polarisation de la lumière :

« Ce fut en 1808 que Malus, regardant avec un prisme à double réfraction un magnifique coucher de soleil *réfléchi* par les vitres du palais du Luxembourg, à Paris, s'aperçut, à son grand étonnement, qu'en faisant tourner le prisme lentement, il se manifestait une très-grande différence dans l'intensité des deux images, la plus réfractée passant alternativement, à chaque quart de révolution, d'un état de clarté



G. Montaut del. et sc.

à un état d'obscurité. Ce phénomène si imprévu excita vivement l'attention de ce grand physicien et le porta à en rechercher la cause (1). »

Telle est, ma sœur, l'origine de la découverte de la lumière dite *polarisée*, parce qu'il arrive, lorsque les vibrations se communiquent en ligne droite de molécule à molécule, que ce rayon rectiligne prend deux pôles. L'un ou l'autre de ces deux pôles donne une image, les côtés du rayon polarisé n'en donnent pas. Si l'on présente un écran au pôle nord ou au pôle sud du rayon de lumière polarisée, on a une image; si l'on présente un écran à droite ou à gauche de ces deux pôles, on n'a pas d'image. Mais ce n'est pas tout. Dans la lumière polarisée, les vibrations se communiquent de molécule à molécule en hélices circulaires et en hélices elliptiques, d'où résultent des images variées et magnifiquement colorées. On peut obtenir toutes les différentes espèces de lumière polarisée au moyen du cristal de roche; mais on en a obtenu d'abord avec la tourmaline, le spath d'Island et le mica.

Voici un petit appareil de polarisation de la lumière (2) : *Rr* est le rayon lumineux réfléchi par la plaque de verre *r* sous un angle de 57°; *M* est la lame de mica à travers laquelle passe

(1) De la connexion des sciences.

(2) Pl. VI, fig. 2.

le rayon réfléchi *Rr;* quand ce rayon lumineux réfléchi a traversé la lame *M*, il est polarisé et il arrive à la surface d'une autre plaque de verre *B;* il est réfléchi de nouveau en *S* et il vient ensuite à l'œil de l'observateur en *E*.

Suivant la nature de la substance solide et diaphane employée pour obtenir la polarisation de la lumière, les images colorées diffèrent; il en est de même pour les liquides qui polarisent la lumière. Tel liquide imprimera au plan de polarisation le mouvement vers la gauche, tel autre vers la droite, et tel autre lui donnera la direction en ligne droite.

Sur cette même planche tu trouveras, moins les couleurs si admirablement belles, quelques-unes des images produites par la polarisation de la lumière (1); ajoutes-y, par la pensée, l'éclat des vives couleurs du prisme, et tu prendras quelque idée de ce que produit la lumière polarisée. MM. Fresnel et Arago ont prouvé que les images colorées par la lumière polarisée, sont dues à l'interférence des rayons. Je ne puis, à mon grand regret, te rapporter les belles paroles de M. Arago sur ce brillant sujet, ni entrer dans des détails que tu trouverais d'autant plus ardus que seul il sait faire comprendre les plus hautes déductions de la science à ses auditeurs ; mais je te dirai du moins que M. Arago a imaginé un

(1) Pl. VI, fig. 3, 4, 5, 6.

instrument auquel il a donné le nom de *polariscope*, et dans lequel se reproduisent ces magnifiques effets de la polarisation de la lumière *réfléchie*. Au moyen du polariscope, M. Arago démontre que la lumière des nuées est réfléchie et que la lumière du Soleil est directe. Je te dirai plus tard, comment, avec le secours du polariscope, on peut reconnaître *la nature* des *éclairs de chaleur*. Mais revenons à l'aberration de la lumière, qui nous montre les corps célestes dans le *lieu apparent* si loin du *lieu vrai*.

Un savant astronome, Bradeley, ayant soumis à l'observation, *pendant trois ans*, les mêmes étoiles, et ayant calculé la différence entre le *lieu vrai* et le *lieu apparent*, donna, par ses calculs, une preuve nouvelle que la vitesse de la lumière est de 77 mille lieues par seconde, ainsi qu'on l'avait déduit des éclipses du premier satellite de Jupiter lorsque la planète est en conjonction.

Tu le vois, ma sœur, chaque observation nouvelle vient confirmer les observations précédentes, et la vérité, imposante et sublime, se dégage peu à peu des nuages dont l'avait entourée l'erreur!

DIX-SEPTIÈME CAHIER.

CONSTELLATIONS. — ZODIAQUE. — ÉTOILES, GÉNÉRALITÉS.

Enfin, diras-tu peut-être, ma petite sœur, nous allons parler du firmament! Nous n'en parlerons pas, nous ne ferons pas de *phrases* au sujet de la voûte étoilée; mais nous nous poserons en auditeurs attentifs de Laplace et de M. Arago. Écoutons:

« L'immobilité respective des étoiles a déterminé les astronomes à leur rapporter, comme à

autant de points fixes, les mouvements des autres corps célestes ; mais, pour cela, il était nécessaire de les classer afin de les reconnaître; et c'est dans cette vue qu'on a partagé le ciel en divers groupes d'étoiles nommés *constellations*.

« Il paraît que l'astronomie pratique des premiers temps se bornait aux observations du lever et du coucher des principales étoiles, et de leurs occultations par la Lune. On suivait la marche du Soleil au moyen des étoiles qu'effaçait la lumière des crépuscules, et par les variations des ombres méridiennes des gnomons (1). On déterminait les mouvements des planètes par les étoiles dont elles s'approchaient dans leur cours.

« Pour reconnaître tous ces astres et leurs mouvements divers, on partagea le ciel en constellations, et cette zone céleste, nommée *zodiaque*, dont le Soleil, la Terre et les planètes connues ne s'écartaient jamais, fut divisée dans les douze constellations suivantes :

Le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, l'Écrevisse,
Le Lion, la Vierge,
La Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne,
Le Verseau, les Poissons.

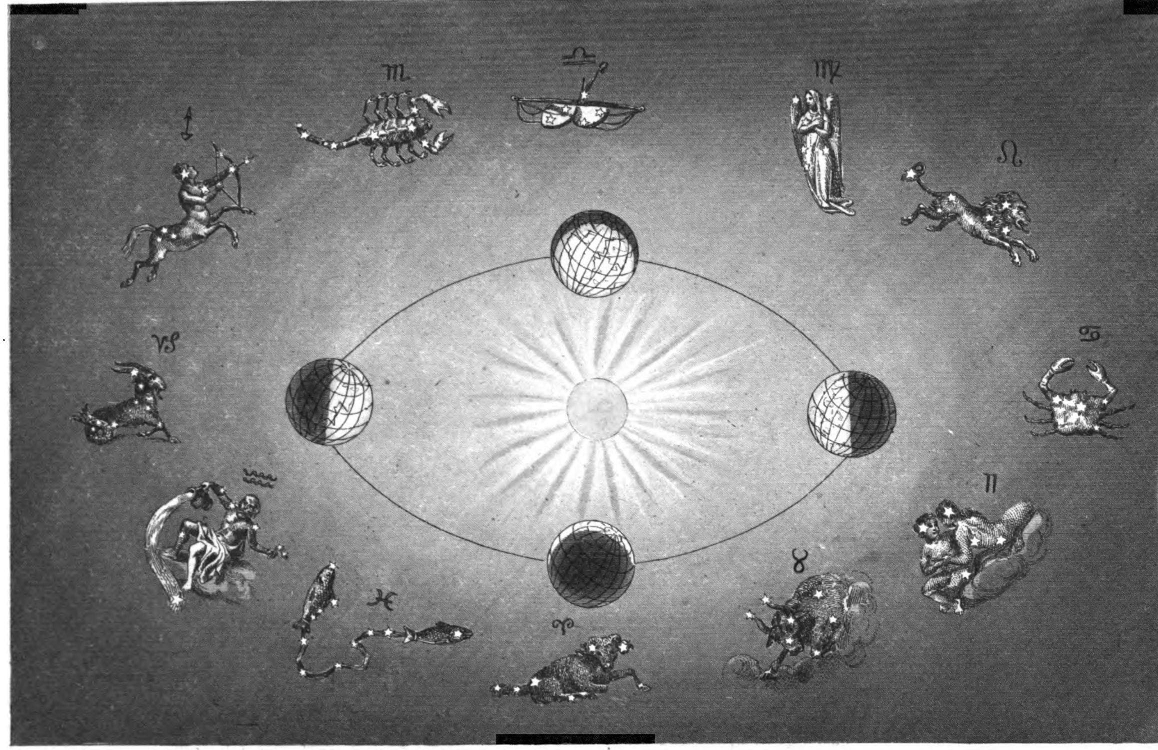
On les nomma *signes*, parce qu'elles servirent à distinguer les saisons. Ainsi, l'entrée du Soleil

(1) Pl. VI, fig. 8. Le gnomon est ordinairement un pilier, une colonne, un obélisque. Au moyen de la longueur de son ombre et d'une opération de trigonométrie, on mesure la hauteur du Soleil dans le méridien, au-dessus de l'horizon, au moment du midi *vrai*.

dans la constellation du Bélier marquait, au temps d'Hipparque, l'origine du printemps; cet astre parcourait ensuite le Taureau, les Gémeaux, etc.

« Mais le mouvement des équinoxes changea, quoique avec lenteur, la correspondance des constellations avec les saisons de l'année, et, à l'époque de ce grand astronome, elle était déjà fort différente de celle qui avait eu lieu à l'origine du zodiaque. Cependant, l'astronomie, en se perfectionnant, ayant eu besoin de signes pour indiquer le mouvement des astres, on continua de désigner, comme Hipparque, l'origine du printemps par l'entrée du Soleil dans le Bélier. Alors on distingua les constellations des signes du zodiaque qui ne furent plus qu'une chose fictive, propre à indiquer la marche des corps célestes. Maintenant qu'on cherche à tout ramener aux notions et aux expressions les plus simples, on commence à ne plus considérer les signes du zodiaque, et l'on marque la position des astres par leur distance à l'équinoxe du printemps.

«Les noms des constellations du zodiaque ne leur ont pas été donnés au hasard; ils ont exprimé des rapports qui ont été l'objet d'un grand nombre de recherches et de systèmes. Quelques-uns de ces noms paraissent être relatifs aux mouvements du Soleil. L'*Écrevisse*, par exemple, et le *Capricorne* indiquent la rétrogradation de cet astre aux solstices, et la *Ba-*



G. Montaut del. et sc.

lance désigne l'égalité des jours et des nuits aux équinoxes. Les autres noms semblent se rapporter à l'agriculture et au climat du peuple chez lequel le zodiaque a pris naissance. Le *Capricorne,* ou la constellation de la *Chèvre*, paraît mieux placée au point le plus élevé de la course du Soleil qu'à son point le plus bas. Dans cette position, qui remonte à quinze mille ans, la Balance était l'équinoxe du printemps, et les constellations avaient des rapports frappants avec le climat de l'Égypte et son agriculture. » (Laplace.)

La figure ci-jointe (1) te montre, à la fois, ma sœur, les changements apportés par le mouvement des équinoxes dans la correspondance des constellations aux saisons de l'année, et les positions diverses des signes du zodiaque; cette figure te prouve, en outre, ce que tu sais à présent *surabondamment*, que c'est la Terre, et non pas le Soleil, qui, en parcourant son orbite, répond à ces différents signes.

« Après avoir considéré les mouvements des corps du système solaire, il nous reste à examiner ceux des étoiles qui, toutes, en vertu de la pesanteur universelle, doivent graviter les unes vers les autres et décrire des orbes immenses.

« Déjà des observations ont fait reconnaître ces grands mouvements qui, probablement, sont

(1) Pl. VII.

en partie des apparences dues au mouvement de translation du système solaire ; mouvement qui, d'après les lois de l'optique, nous transporte en sens contraire aux étoiles. Lorsqu'on en considère un grand nombre, leurs mouvements réels ayant lieu dans tous les sens, ils doivent disparaître dans l'expression du mouvement du Soleil, conclu de l'ensemble de leurs mouvements propres observés. C'est ainsi que l'on a reconnu que le système du Soleil, et tout ce qui l'environne, est emporté vers la constellation d'Hercule, avec une vitesse au moins égale à celle de la Terre dans son orbite. »

Qu'en dis-tu, ma sœur ? Ainsi, non-seulement notre globe tourne sur son axe et autour du Soleil, mais le Soleil l'entraîne encore dans l'espace !

« Outre ces grands mouvements du Soleil et des étoiles, on en observe de particuliers dans plusieurs *étoiles doubles ;* on nomme ainsi deux étoiles extrêmement rapprochées qui paraissent n'en former qu'une dans les lunettes dont le grossissement est peu considérable. Leur proximité apparente peut tenir à ce qu'elles sont, à fort peu près, dans le même rayon visuel. Mais une disposition semblable est déjà un indice de leur proximité réelle, et si, de plus, elles ont des mouvements propres et fort peu différents en ascension droite et en déclinaison, il devient alors extrêmement probable qu'elles forment un système

de deux corps très-rapprochés, et que les petites différences de leurs mouvements propres sont dues à un mouvement de révolution de chacune d'elles autour de leur centre commun de gravité: sans cela, l'existence simultanée de ces trois choses, la proximité apparente des deux étoiles et leurs mouvements presque égaux, soit en ascension droite, soit en déclinaison, serait totalement invraisemblable. »

Je m'arrête un moment ici pour t'engager, ma sœur, à relire avec attention ce que tu auras lu peut-être légèrement dans ton traité d'astronomie, au sujet de l'ascension droite et de la déclinaison des étoiles.

« Les étoiles sont au moins *deux cent mille fois* plus éloignées de la Terre que le Soleil. Une si prodigieuse distance, jointe à leur vive clarté, nous prouve évidemment qu'elles n'empruntent pas, comme les planètes et les satellites, leur lumière au Soleil, mais qu'elles brillent de leur propre lumière; en sorte qu'elles sont autant de soleils répandus dans l'immensité de l'espace, et qui, semblables au nôtre, peuvent être les foyers d'autant de systèmes planétaires.

« Il suffit, en effet, de nous placer sur le plus voisin de ces astres pour ne voir le Soleil que comme un astre lumineux dont le diamètre apparent serait au-dessous d'un *huitième de seconde*.

« Il résulte, de l'immense distance des étoiles,

que leurs mouvements en ascension droite et leurs déclinaisons ne sont que des apparences produites par le mouvement de l'axe de rotation de la Terre. Mais quelques étoiles paraissent avoir des mouvements propres, et il est vraisemblable qu'elles sont toutes en mouvement ainsi que le Soleil, qui transporte avec lui dans l'espace le système entier des planètes et des comètes, de même que chaque planète entraîne ses satellites dans son mouvement autour du Soleil. » (Laplace.)

Sens-tu, ma sœur, s'agrandir l'idée que tu t'étais faite du firmament! Comprends-tu la magnificence des résultats de la science appelée astronomie, et admires-tu, avec une vénération plus profonde, l'Auteur de l'univers ?

Voyons à présent, ce que fit, il y a deux mille ans, pour le progrès de la science, Hipparque, surnommé le père de l'astronomie. Tu es en état d'en mieux juger que tu ne l'étais il y a quelque temps.

« Hipparque, de Nicée, en Bithynie, vécut dans le second siècle avant notre ère. Ptolémée, à qui nous devons principalement la connaissance de ses travaux, et qui s'appuie sans cesse sur ses observations et ses théorèmes, le qualifie à juste titre d'*astronome d'une grande adresse*, *d'une sagacité rare*, *et grand ami de la vérité*. Peu content de ce qu'on avait fait jusqu'alors, Hipparque voulut tout recommencer et n'admettre

que les résultats fondés sur une nouvelle discussion des observations nouvelles plus exactes que celles de ses prédécesseurs. Rien ne fait mieux connaître l'incertitude des observations égyptiennes et chaldéennes sur le Soleil et les étoiles, que la nécessité où il se trouva d'employer celles des premiers astronomes d'Alexandrie, pour établir les théories du Soleil et de la précession des équinoxes. Il détermina la durée de l'année tropique, et il forma les premières tables du Soleil dont il soit fait mention dans l'astronomie.—Ces tables, malgré leur imperfection, sont un monument durable de son génie.

« Ce grand astronome considéra ensuite les mouvements de la Lune. Il détermina, par la comparaison d'un très-grand nombre d'éclipses choisies dans les circonstances les plus favorables, les durées de ses révolutions relativement au Soleil et aux étoiles, à ses nœuds et à son apogée. Le résultat auquel il parvint, est peut-être l'un des plus précieux de l'ancienne astronomie par son exactitude, et parce qu'il représente, à cette époque, la durée sans cesse variable de ses révolutions. Hipparque détermina encore l'excentricité de l'orbe lunaire et son inclinaison à l'écliptique, et il les trouva à très-peu près les mêmes que celles qui ont lieu maintenant dans les éclipses.

« Il fit un grand nombre d'observations des planètes; mais trop ami de la vérité pour for-

mer sur leurs mouvements des conjectures incertaines, il laissa à ses successeurs le soin d'en établir les théories.

« Une nouvelle étoile qui parut de son temps, lui fit entreprendre un catalogue de ces astres pour mettre la postérité en état de reconnaître les changements que l'aspect du ciel pouvait éprouver; il sentait, d'ailleurs, l'importance de ce catalogue pour les observations de la Lune et des planètes.—Le fruit de cette longue et pénible entreprise fut la découverte de la précession des équinoxes. En comparant ses observations à celles des astronomes Aristille et Timocharsis, Hipparque reconnut que les étoiles avaient changé de position par rapport à l'équateur et qu'elles avaient conservé la même latitude au-dessus de l'écliptique. Il soupçonna d'abord que cela n'avait eu lieu que pour les étoiles situées dans le zodiaque; mais ayant observé qu'elles conservaient toutes la même position respective, il en conclut que le phénomène était général. Pour l'expliquer, il supposa, dans la sphère céleste, un mouvement direct d'où résultait un mouvement rétrograde en longitude, mouvement qui lui parut être, par siècle, de la trente-sixième partie du zodiaque. Mais il présenta sa découverte avec la modestie que devait lui inspirer le peu d'exactitude des observations d'Aristille et de Timocharsis.

« La géographie est redevable à Hipparque

de la méthode de fixer la position des lieux sur la Terre par leur latitude et leur longitude pour laquelle il employa, le premier, les éclipses de Lune. Les nombreux calculs qu'exigeaient toutes ces recherches lui firent inventer, ou du moins perfectionner la trigonométrie sphérique. » (Laplace.)

Eh bien! ma sœur, que dis-tu de ce vaste cerveau qui osa concevoir la pensée de tant de travaux et qui sut les exécuter? Hipparque a devancé les siècles. Sa grande ombre, encore debout, voit, après deux mille ans, les astronomes suivre la trace lumineuse qu'il a laissée, de son passage, dans le firmament!

DIX-HUITIÈME CAHIER.

MOUVEMENT DE ROTATION DES ÉTOILES. — ÉTOILES CHANGEANTES. — ÉTOILES PÉRIODIQUES.

« Avant Williams Herschel, la constitution physique des astres paraissait occuper peu les astronomes. Quoi, cependant, de plus intéressant que de rechercher, par exemple, si les étoiles brillent d'une lumière constante? Supposez cette lumière variable; notre Soleil étant évidemment une étoile, ira se ranger sous la règle commune; dans les siècles passés, aura pu ré-

gner sur la terre une température très-supérieure à celle de notre temps; aux siècles futurs sera réservé de voir le Soleil s'éteindre, de voir les planètes toujours circuler autour d'une masse toujours énorme, mais désormais impropre à porter la vie à quarante millions de lieues de distance; pour expliquer divers phénomènes, les géologues auront le droit de recourir hardiment à une cause dont auparavant ils osaient à peine faire mention, tant elle paraissait hypothétique, etc. » (M. Arago, *Analyse des travaux de W. Herschel.*)

Cette proposition, que tu aurais repoussée, peut-être, il y a quelque temps, en haussant les épaules, doit aujourd'hui, ma Laurette, te paraître digne d'attention; aujourd'hui, où tu es enfin convaincue, je pense, de l'exactitude avec laquelle sont faites les observations astronomiques. Je t'engage, afin de détruire jusqu'à l'ombre d'un doute à ce sujet, à lire la belle *Analyse historique et critique de la vie et des travaux de sir Williams Herschel*, publiée par M. Arago, dans l'*Annuaire pour* 1842; c'est là que je vais puiser pour toi, comme dans une mine féconde, du plaisir et du savoir.

Tes livres d'étude ont dû t'apprendre sur quelles bases a été établie la classification des étoiles suivant l'ordre de leur intensité; les changements qui s'opèrent dans cette intensité, changements confirmés par les anciennes obser-

vations des astronomes comparées avec les observations nouvelles; tes livres d'étude t'auront dit aussi qu'il y a des étoiles qui diminuent de grandeur ; d'autres, dont la lumière est perdue, éteinte ; d'autres, au contraire, dont l'éclat va en augmentant; tes livres d'étude t'auront parlé encore des étoiles changeantes ou périodiques ; mais si tu veux *savoir* réellement quelque chose sur ce sujet, il faut lire et lire attentivement cette *Analyse* due à la plume brillante de M. Arago. Alors seulement tu comprendras qu'on peut accepter, les *yeux fermés*, les vérités proclamées par ceux dont les yeux sont si bien ouverts, si attentifs à ce qui se passe dans les cieux, et admettre avec confiance leurs hypothèses.

« De toutes les causes auxquelles il était possible de recourir pour expliquer les apparitions, les disparitions de certaines étoiles et leur changement graduel d'intensité, celle qui consistait à doter ces astres de faces diversement lumineuses, et de mouvements de rotation autour de leurs centres, aurait dû, *suivant nos idées*, s'offrir la première et le plus naturellement à l'esprit des astronomes du seizième siècle. Pourquoi n'en fut-il pas ainsi? La réponse à cette question n'est pas difficile à trouver. Avant le commencement du dix-septième siècle, avant la découverte des lunettes, on n'avait aperçu ni les taches du Soleil, ni les taches beaucoup plus faibles qui se montrent quelquefois à la surface

des planètes; aucun *astre* ne s'était donc offert encore aux yeux des astronomes avec un mouvement de rotation sur son centre. Copernic, il est vrai, dans son mémorable traité *de Revolutionibus*, faisait tourner la Terre; mais l'assimilation, sous un pareil rapport, de notre globe au Soleil ou aux étoiles, était une de ces témérités que les hommes de génie seuls ont le droit de se permettre.

« Ce que je viens de nommer une témérité, se trouve en toutes lettres dans la dissertation que Kepler publia à l'occasion de l'étoile *nouvelle* de 1604. « Il est croyable, disait le grand astronome, que toutes les planètes et les *fixes* tournent autour de leurs axes. » Plus tard, en 1609, il étendit sa conjecture au Soleil. Le trente-deuxième chapitre de l'immortel ouvrage : *De Motibus Stellæ Martis*, renferme ce passage : Le corps du Soleil est magnétique; *il tourne autour de lui-même*. »

« La glace était alors rompue. Les lunettes allaient d'ailleurs vérifier les prédictions de Kepler, et mettre les astronomes en possession d'un nouveau moyen d'expliquer certains phénomènes du ciel étoilé. Cependant cinquante années s'écoulèrent sans qu'ils songeassent à en faire usage.

« Pour rendre compte de l'apparition des étoiles de 1572 et de 1604, sans enfreindre la maxime de l'incorruptibilité des cieux et sans

regarder ces étoiles comme des créations nouvelles, Riccioli supposa qu'il existe au firmament certaines étoiles qui, de toute éternité, sont lumineuses seulement dans une moitié de leur surface et obscures dans l'autre moitié. Bérose, le Chaldéen, avait déjà constitué la Lune de cette manière, à l'occasion d'une explication absurde de ses phases. Riccioli ajoutait : « Quand Dieu veut montrer aux hommes quelque signe extraordinaire, il fait tourner brusquement une de ces étoiles sur son centre; par une semblable révolution, l'étoile se dérobe à nos regards, soit subitement, soit seulement peu à peu, comme la Lune dans ses décours, suivant les circonstances du mouvement. »

« Ce passage de l'*Almageste* se rapportait aux *étoiles nouvelles* et nullement aux étoiles *évidemment périodiques*. C'est à Boulliaud qu'était réservé l'honneur d'envisager celles-ci d'un point de vue vraiment philosophique. Dans un Mémoire de dix-neuf pages sur l'étoile *o* de la Baleine, Boulliaud fait, de cet astre, un globe doué d'un mouvement de rotation *régulier* et *continuel* autour d'un de ses diamètres. En ajoutant, à cette première donnée, la supposition que le globe est obscur sur la plus grande partie de sa surface, et lumineux dans le reste, l'astronome français croyait pouvoir satisfaire à toutes les circonstances du phénomène. » (M. Arago.)

Comme toujours, tu le vois, ma sœur, ce n'est

qu'après bien des tâtonnements et souvent bien des folies que l'homme arrive à l'idée la plus simple, et qui est presque toujours la seule qui soit vraie.

« La lumière blanche est un composé de rayons de différentes couleurs (tu le sais, ma sœur). Ces rayons se meuvent-ils dans l'espace avec la même vitesse? On citerait difficilement une question de physique dont la solution puisse conduire à des conséquences plus nettes sur la constitution des espaces célestes.

« En effet, sans nous occuper, pour le moment, de la *cause physique* qui détermine les changements d'intensité de l'étoile *o* de la Baleine, nous pouvons affirmer, avec certitude, qu'à certaines époques cette étoile nous envoie beaucoup de lumière ; qu'à d'autres époques, elle ne nous envoie rien, ou presque rien ; qu'enfin le passage de ce dernier état au premier se fait graduellement et avec assez de rapidité.

« L'étoile qui, aujourd'hui, je suppose, n'envoie aucun rayon sur la Terre, deviendra, quelque temps après, luisante. Alors, elle nous lancera des rayons blancs, puisque sa teinte naturelle est blanche ; autrement dit, qu'on me passe l'assimilation, elles nous dépêchera simultanément, et à chaque instant, *sept courriers* de diverses couleurs. Si le courrier rouge est le plus rapide, ce sera lui qui arrivera le premier pour témoigner de la réapparition de l'étoile ; la réap-

parition se fera donc avec une teinte rouge. Cette teinte se modifiera à mesure que les autres couleurs prismatiques, orangées, jaunes, vertes, bleues, indigo, violettes, arriveront à leur tour, et iront se mêler au rouge qui les avait précédées. Le mélange du rouge et de l'orange; celui de ces deux premières couleurs et du jaune; la couleur qui résulte des trois précédentes unies au vert; le résultat de la combinaison des quatre couleurs les moins réfrangibles (qui se réfractent le moins), d'abord, avec le bleu seul; ensuite, avec le bleu et l'indigo; enfin, avec le bleu, l'indigo et le violet, ce qui constitue le blanc; voilà quelles seront les teintes successives d'une étoile naissante. Les choses se reproduisent dans l'ordre inverse pendant l'affaiblissement.

« Si tels doivent être, *en général*, les phénomènes de l'apparition et de la disparition d'une étoile périodique blanche, dans le cas où les rayons de diverses couleurs se meuvent avec différentes vitesses, il n'est pas moins évident que, si le rouge, le vert, le violet, etc., traversent l'espace avec une égale rapidité, l'étoile variable restera constamment blanche, depuis sa première apparition jusqu'au maximum d'intensité, et pendant la période décroissante, depuis le maximum d'intensité jusqu'à la disparition.

« Entre des phénomènes si dissemblables qu'a statué l'observation ?

« Depuis qu'il me vint à la pensée que les étoi-

les variables seraient un moyen de trancher la question, si controversée, de l'égalité ou de l'inégalité de vitesse des rayons lumineux de diverses couleurs, j'ai souvent examiné des étoiles périodiques blanches dans tous leurs degrés d'intensité, sans y remarquer de coloration appréciable. Je me suis assuré, en outre, qu'aucun des astronomes modernes, voués à ce genre de recherches, n'a mentionné de coloration réelle dans les phases d'une étoile périodique quelconque. Les témoignages sont d'autant plus précieux qu'en faisant leurs observations ils ne songeaient guère au parti qu'on pourrait en tirer pour résoudre les questions relatives à la vitesse de la lumière des divers rayons du spectre solaire.

« Ce ne serait pas ici le lieu de déterminer, numériquement, le degré de précision auquel cette méthode permettrait d'arriver avec telle ou telle étoile changeante ; il me suffira de dire que cette précision est très-grande, et d'indiquer une application singulière qu'on peut faire du résultat.

« Dans le système newtonien de l'émission (tu te souviens, ma sœur, de ce qui a été rapporté, au sujet de l'émanation et de l'ondulation du rayon lumineux, dans le cahier sur la lumière), le seul que je considérerai pour le moment, les rayons lumineux de diverses couleurs traversent es corps diaphanes solides, liquides et gazeux,

avec des vitesses différentes. Dans le vide, les rayons rouges sont toujours les plus rapides; les rayons violets, toujours les plus lents; les orangés, les jaunes, les verts, les bleus, les indigos ont toujours des vitesses intermédiaires entre celles des rayons rouges et des rayons violets.

« La différence entre les divers rayons du spectre, n'est pas constante; elle varie avec la nature, avec la densité des milieux traversés.

« Les espaces célestes, tout le monde en convient, sont remplis d'une matière très-rare. Assimilons cette matière, quant à ses propriétés réfringentes, aux gaz terrestres dans lesquels les rayons rouges et les rayons bleus, par exemple, ont les vitesses les moins dissemblables. Cherchons ensuite quelle devrait être la *densité de ce gaz* pour que deux rayons, l'un rouge et l'autre bleu, partis en même temps d'une étoile changeante, arrivassent à terre *à peu près* simultanément, malgré la prodigieuse épaisseur de la matière traversée, malgré la durée du temps qui ne saurait être au-dessous de *trois ans;* le résultat du calcul étonnera l'imagination par sa petitesse.

« *Déterminer* à l'aide d'un *simple phénomène de coloration* la *limite supérieure de la densité* que peut avoir l'éther répandu dans les espaces célestes, m'a paru une chose assez cu-

rieuse pour justifier les explications qu'on vient de lire. » (M. Arago.)

N'est-elle pas admirable, ma sœur, la puissance que donne à l'homme le noble exercice des facultés intellectuelles?

DIX-NEUVIÈME CAHIER.

ÉTOILES COLORÉES. — ÉTOILES NÉBULEUSES. — NÉBULEUSES. — LA VOIE LACTÉE.

Oui, ma sœur, il y a *pourtant,* comme tu dis, dans l'espace, des étoiles *réellement* et *constamment* colorées ; il y a des Soleils *rouges* et *jaunes* des Soleils *bleus* et *verts* ; les combinaisons binaires, quand la petite étoile est très-bleue ou très-verte, présentent une grande étoile ordinairement jaune ou rouge. Le télescope nous fait voir ces merveilles du ciel étoilé ;

le télescope rapproche de nous ces brillants Soleils qui éclairent vraisemblablement d'autres mondes, et cependant à quelle immense distance ils sont de nous! Le télescope nous montre encore des milliers d'étoiles, là où le ciel, vu à l'œil nu, nous paraît complétement bleu. C'est dans l'*analyse des travaux d'Herschel* que tu apprendras tout ce que l'astronomie doit à cet instrument *trouvé* par des enfants; c'est là que tu feras connaissance complète avec les beautés sublimes de la création ; là, tu apprendras encore par quelles méthodes ingénieuses l'homme est arrivé à reconnaître, en ce qui touche la distance des étoiles , que « tout est déterminé et calculable, et qu'on peut obtenir , à l'aide de la trigonométrie la distance de l'étoile à la Terre. » Tu cesseras alors de t'étonner que l'astronome ose dire : La lumière parcourant 77 mille lieues par seconde, il n'y a aucune étoile de première grandeur dont la lumière nous parvienne en *moins de trois ans* ; la lumière des étoiles de seconde grandeur ne saurait parvenir à la Terre en moins de *six ans*; celle des étoiles de quatrième grandeur en moins de *douze ans*; celle des étoiles de sixième grandeur en moins *trente-six ans*; celle enfin des étoiles qui ne sont visibles qu'avec le secours d'un télescope de dix pieds, ne parvient pas à la Terre en moins de *mille quarante ans!*

Ah, ma sœur! ne sens-tu pas ton âme péné-

trée d'une admiration sans bornes, sans limites comme l'espace, pour la toute-puissance, pour l'immensité de Dieu! Et ne conçois-tu pas l'*infini!*....

Mais redescendons sur notre globe chétif qui se meut dans l'espace, et voyons l'homme, cet atome, qui se meut à son tour sur la croûte terrestre, reconnaître le mouvement propre des étoiles! Déjà il a proclamé que chacun de ces soleils, qui étincellent au firmament, tourne sur lui-même ainsi que son propre Soleil, à lui; déjà il a proclamé que son Soleil, à lui, et tout le système planétaire qui l'entoure changent de place; le voilà qui découvre que les autres soleils, que les étoiles fixes ne restent pas immobiles dans l'espace! Ecoutons Fontenelle. « Il y a dans l'aigle une étoile, x, qui, si toutes les choses continuent leur cours, aura à son occident, après un grand nombre de siècles, une autre étoile qu'elle a présentement à son orient. Toutes les fixes sont autant de soleils, centres, comme notre Soleil, chacun de son tourbillon; mais centres seulement à peu près, et qui peuvent se mouvoir autour d'un autre point central général. Le *Soleil pourrait lui-même se mouvoir de cette façon.* »

A cette époque, ma sœur, cette vérité était encore à l'état d'hypothèse. Il fallait *faire la part* des *mouvements apparents* que la Terre prête aux étoiles fixes, aussi le grand astro-

nome Bradley se bornait à une conjecture : « Si l'on conçoit que *notre système solaire change de place dans l'espace absolu*, il sera possible qu'à la longue cela amène une variation apparente dans la distance angulaire des étoiles fixes. En ce cas, la position des étoiles voisines étant plus affectée que celle des étoiles très-éloignées, leurs situations relatives pourront sembler altérées, quoique toutes les étoiles soient restées réellement immobiles ; d'un autre côté, si notre système est en repos et quelques étoiles réellement en mouvement, cela fait varier aussi la position apparente, d'autant plus que les mouvements seront plus rapides, plus convenablement dirigés pour être bien vus, et que la distance des étoiles à la Terre se trouvera moindre. Les changements de positions relatives des étoiles pouvant dépendre d'une si grande variété de causes, il faudra peut-être les observations de beaucoup de siècles avant qu'on arrive à en découvrir les lois. » (Notice sur W. Herschel.)

Quelques années après, Tobie Mayer, *l'une des plus hautes notabilités astronomiques du siècle dernier*, remarquait « qu'on pouvait également expliquer les mouvements observés, soit en supposant les étoiles mobiles elles-mêmes, soit en admettant que le Soleil changeait sans cesse de place avec le cortége des planètes qui circulent autour de lui. Il n'oubliait pas non

plus de dire qu'en regardant le déplacement des étoiles comme de simples conséquences des mouvements du Soleil dans l'espace, les constellations vers lesquelles ce mouvement serait dirigé augmenteraient graduellement de dimension, tandis que les constellations opposées diminueraient. C'est ainsi, ajoutait le savant astronome, que, dans une forêt, les arbres à la rencontre desquels marche le promeneur, lui semblent progressivement s'écarter entre eux, alors que les arbres placés à l'opposite paraissent au contraire se rapprocher. » (Notice sur W. Herschel.)

C'est dans cette notice même, ma sœur, qu'il faut suivre pas à pas l'histoire de cette belle découverte ; M. Arago termine ainsi : « En résumé, les mouvements propres des étoiles sont reconnus, sont constatés depuis plus d'un siècle...... Herschel *prouva*, lui, que le Soleil se meut en effet ; que, sous ce rapport aussi, cet astre éblouissant, immense doit être rangé parmi les étoiles ; que les inégalités en apparence inextricables de tant de mouvements propres stellaires tiennent en grande partie au déplacement du système solaire ; qu'enfin le point de l'espace vers lequel nous avançons chaque année est situé dans la constellation d'Hercule.

« Ces résultats sont magnifiques. La découverte du mouvement propre de notre système comptera toujours parmi les plus beaux titres

de gloire d'Herschel, même après la mention détaillée que mon devoir d'historien m'a conduit à faire des conjectures antérieures, si nettes, si ingénieuses et si injustement oubliées de Fontenelle, de Bradley, de Mayer et de Lambert.»

Le moyen, ma sœur, de douter des vérités ainsi pressenties, ainsi devinées, ainsi poursuivies de siècle en siècle par les plus beaux génies, et prouvées enfin, avec la dernière évidence, par le secours de l'observation et du calcul!

«Nous voici arrivés à la découverte d'Herschel qui semble avoir le plus d'avenir. Les résultats, qu'elle permet d'espérer, seront d'une extrême importance (1). — Herschel reconnut que les couples d'étoiles (surnommés étoiles doubles), de grandeur ordinairement inégales et très-voisines les unes des autres, dont le ciel fourmille, ne se trouvent pas, en général, réunies ainsi dans un espace excessivement resserré par un simple effet de perspective. Il s'assura qu'il y a, dans ces groupes, autre chose que des étoiles *indépendantes,* situées *fortuitement* sur des lignes visuelles, excessivement rapprochées; il *démontra* que ces étoiles *sont liées les unes aux autres;* qu'elles forment de véritables systèmes; il établit que les petites étoiles circulent autour des grandes, précisément comme la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, etc., circulent autour du Soleil; et, chose remarquable, que cer-

(1) V. l'*Annuaire* de 1834.

tains de ces soleils, tournant autour d'autres soleils, font leurs révolutions en moins de temps que n'en emploie Uranus à parcourir son orbite.»

Crois-tu encore, ma sœur, que tous ces mondes soient astreints à tourner autour du nôtre? Crois-tu encore que la Terre demeure seule immobile, et qu'elle soit le centre de l'univers? Il n'est plus même possible aujourd'hui de supposer qu'elle est le centre de notre système solaire.

Tu as lu certainement quelque chose au sujet des nébuleuses dans ton traité d'astronomie; ici encore le génie d'Herschel va éclaircir une question non moins controversée que toutes les autres, et non moins intéressante.

« Ce qu'Herschel considère comme des *étoiles nébuleuses*, ce sont des étoiles, proprement dites, entourées de nébulosités *dépendant d'elles*, *faisant corps avec elles.*» Tandis que les nébuleuses sont «des taches *diffuses* et lumineuses que les astronomes ont découvertes dans toutes les parties du firmament.»

Et ces taches, ma Laurette, qui se présentent sous une grande variété de formes, c'est ce que Tycho-Brahé appelait de la *matière céleste;* et cette matière, en se condensant, donne naissance à des étoiles nouvelles! Ainsi l'astronome assiste, en quelque sorte, *à la naissance* d'une étoile!

« Kepler, à son tour, composa l'étoile nouvelle de 1604 avec la matière agglomérée de l'éther.

Cette matière, parvenue à une condensation moins complète, lui semblait être la cause physique de l'atmosphère dont le Soleil est enveloppé, et qui se manifeste sous les apparences d'une couronne faiblement lumineuse pendant toute la durée des éclipses totales du Soleil. L'étoile nouvelle de 1572 se forma dans la voie lactée; celle de 1604 n'en était pas loin. Kepler voyait, dans cette coïncidence, une raison plausible pour assigner aux deux astres une même origine; seulement il ajoutait: *Si la matière lactée engendre incessamment des étoiles, comment ne s'est-elle pas épuisée; comment la zone, qui la contient, paraît-elle n'avoir pas diminué depuis Ptolémée?* « Cette difficulté n'a vraiment rien de sérieux, reprend M. Arago. Quels moyens avons-nous de savoir ce qu'était la voie lactée il y a quinze cents ans? »

Ainsi, ma sœur, cette grande zone, à laquelle les Grecs ont donné une origine toute divine et surtout poétique, est une nébuleuse dont notre Soleil fait partie.

« Herschel a solidement établi, par mille et mille observations, que la blancheur de la voie lactée provient, en *majeure partie*, d'agglomération d'étoiles trop petites, trop faibles pour être distinguées séparément. La matière diffuse, mêlée en certaines proportions aux étoiles, joue ici un rôle comme dans plusieurs nébuleuses résolubles; mais c'est un rôle *évidemment secondaire.* »

« Presque partout, où des étoiles rapprochées entre elles se sont offertes à nos regards en dehors les limites apparentes de la voie lactée, nous avons reconnu qu'elles tendent à se grouper autour de plusieurs centres; qu'elles semblent obéir, comme les divers corps de notre système solaire, à une force attractive; que cette force, enfin, a déjà produit, dans certains groupes arrondis, des effets, des concentrations très-considérables. Pourquoi les étoiles de la grande nébuleuse, dont nous faisons partie, auraient-elles échappé plus que les autres à ce genre d'action? Si jadis elles étaient uniformément distribuées, cet état a dû cesser et cessera chaque jour davantage. Les faits confirment ces conséquences du raisonnement. Les étoiles, loin de paraître uniformément distribuées sur toute l'étendue de la voie lactée, ont offert à Herschel, armé de ses télescopes, 157 groupes distincts, circonscrits, qui ont pris place dans le catalogue des nébuleuses, sans compter 18 groupes analogues, situés sur les limites, sur les bords de cette même zone. — Aucune portion de la voie lactée, résoluble au télescope (c'est-à-dire apparaissant au télescope sous la forme d'étoile), n'a offert à Herschell des indices plus manifestes et sur une plus grande échelle du mouvement de concentration des étoiles, que l'espace qui sépare β et γ du Cygne. En *jaugeant* cet espace (expression familière d'Herschel) sur une largeur d'environ cinq de-

grés, Herschel a reconnu qu'on pourrait y compter 331 mille étoiles. Cet immense groupe offre déjà une sorte de division; 165 mille étoiles paraissent marcher d'un côté, et 165 mille de l'autre.

« Tout justifie donc l'opinion de l'illustre astronome. Dans la suite des siècles, le pouvoir de concentration amènera inévitablement le fractionnement, la rupture, la dislocation de la voie lactée. » (*Notice sur W. Herschel.*)

Quel dommage! vas-tu dire, sans doute, ma sœur, toi qui as pris si souvent plaisir à contempler, pendant des heures entières, cette voie lactée. Et moi, je dirai : Quel étonnant génie que celui de l'homme! et que nous sommes loin du temps où Hipparque comptait *deux mille* étoiles au firmament!

VINGTIÈME CAHIER.

TACHES ET CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.

Tu m'écris, ma sœur, que ton *héros,* parmi les astronomes anciens et modernes, c'est Kepler, et que tu ne comprends pas comment on lui rend si peu justice dans les traités d'astronomie. Je répondrai à *ta réclamation*, d'abord que tu ne connais pas *tous* les livres écrits sur l'astronomie, et ensuite que si je ne t'étais pas venu en aide, par des citations d'ouvrage qu'à ton âge et qu'en

ta qualité de femme on ne lit pas, tu n'aurais pas compris comment Kepler est réputé grand homme pour avoir établi les trois lois qui portent son nom et que, jusqu'à ce jour, tu ne t'étais pas mise en peine de comprendre.

Oui, Kepler fut un beau génie, et, observateur infatigable, il devança souvent, par ses hypothèses hardies, l'époque où devaient être reconnues les hautes vérités de l'astronomie. Dans la contemplation des corps célestes, il oubliait la vie matérielle, et chaque découverte nouvelle lui apportait des jouissances si enivrantes qu'il ne sentait plus le froid, ni la faim! La plupart des grands hommes de nos jours ne sont pas ainsi faits; ils n'appartiennent pas à *l'espèce* de ces *fous sublimes* pour lesquels la science *est tout;* aussi, quelle que soit la soif de la gloire qui les dévore, on peut demander si quelqu'un d'entre eux laissera au monde un nom aussi beau, aussi justement célèbre que celui de Kepler; de Kepler, qui ne songea probablement même pas que la postérité rendrait immortel ce nom connu à peine de ses contemporains!

Suivant notre habitude de remonter autant que possible à l'origine des découvertes faites en astronomie, nous allons rechercher l'époque où furent reconnues, pour la première fois, les taches qui se dessinent sur la surface du Soleil. L'entreprise sera d'autant plus facile et plus agréable pour moi et pour toi, qu'un beau tra-

vail a été fait sur ce sujet par M. Arago; je n'ai donc qu'à en extraire les passages qui peuvent t'intéresser le plus; quelque jour, je l'espère, tu voudras le lire dans son entier.

« Kepler donnait, aux premières observations des taches, une date fort ancienne, en se fondant sur deux vers de Virgile. Dans le premier, le poëte dit (je rapporte seulement la traduction):

« Quand le Soleil levant se montre parsemé de taches. »

« Veut-on, dit Kepler, ne voir dans ces paroles qu'une allusion à des nuages, j'opposerai à cette interprétation un autre vers :

« Si, aux taches, vient se joindre la couleur du feu. »

« Dans les *Annales de la Chine*, du père Maillot, on dit que dès l'an 311 de notre ère il y avait, sur le Soleil, des taches qui s'apercevaient à la simple vue.

« En arrivant au Pérou, les Espagnols reconnurent, suivant Joseph Acosta, que les naturels avaient remarqué les taches solaires avant que leur existence eût été constatée en Europe.

« Plusieurs historiens de Charlemagne rapportent qu'en l'année 807 une forte tache noire se montra sur le Soleil pendant *huit jours* consécutifs. On supposa que cette tache était Mercure, sans réfléchir que, d'après les mouvements connus de cette planète, il était absolument impossible qu'elle se projetât *huit jours de suite* sur le Soleil. — Le premier qui ait *soupçonné* le

mouvement de rotation du Soleil, paraît être Jordan Bruno, la malheureuse et savante victime de l'inquisition. Sur ce point, le génie de Kepler devança aussi l'observation. La science s'enrichit définitivement de ce nouveau fait par le mémoire que J. Fabricius publia en 1611. — L'ouvrage de Fabricius renferme ce passage : « Nous imaginâmes de recevoir les rayons du Soleil par un petit trou, dans une chambre obscure, et sur du papier blanc, et nous vîmes très-bien cette tache (la tache que Fabricius avait avait aperçue en visant directement au Soleil) en forme de nuage allongé. Le mauvais temps nous empêcha, pendant trois jours, de continuer ces observations. Au bout de ce temps-là, nous vîmes la tache qui était avancée obliquement vers l'occident. Nous en aperçûmes une autre, plus petite, vers le bord du Soleil, qui, dans l'espace de peu de jours, parvint jusqu'au milieu; enfin il en survint une troisième; la première disparut d'abord, et les autres quelques jours après. Je flottais entre l'espérance et la crainte de ne pas les revoir; mais, dix jours après, la première reparut à l'orient. Je compris alors qu'elle faisait une révolution; et, *depuis le commencement de l'année*, je me suis confirmé dans cette idée, et j'ai fait voir ces taches à d'autres qui en sont persuadés comme moi. Cependant, j'avais un doute qui m'empêcha d'abord d'écrire à ce sujet, et qui me faisait même me repentir du temps que

j'avais employé à ces observations. *Je voyais que ces taches ne conservaient pas entre elles les mêmes distances; qu'elles changeaient de forme et de vitesse; mais j'eus d'autant plus de plaisir lorsque j'en eus senti la raison. Comme il est vraisemblable, par ces observations, que ces taches sont sur le corps même du Soleil qui est sphérique et solide, elles doivent devenir plus petites et ralentir leur mouvement lorsqu'elles arrivent sur les bords du Soleil.* » (M. Arago.)

Es-tu convaincue, ma sœur? et n'éprouves-tu pas quelque envie de répéter toi-même une observation si facile et si simple?

Quelque chose de singulier, c'est qu'on n'imagina que beaucoup plus tard, d'ajouter des verres colorés aux lunettes astronomiques pour observer directement le Soleil; et cependant, dès lors, les marins hollandais se servaient de verres colorés en vert pour prendre, à *l'œil nu*, sans lunettes d'approche, la hauteur du Soleil. Aujourd'hui, on place le verre coloré en dehors de la lunette, entre l'œil et l'oculaire.

Voilà donc reconnues, constatées, les taches et le mouvement de rotation du Soleil sur lui-même. Écoutons, maintenant, ce que M. Arago va dire sur la nature de ces taches et sur la constitution de notre flambeau lumineux.

« Les anciens ne nous ont rien laissé à ce sujet de plausible ni même de raisonnable. Tou-

tes leurs disputes paraissent avoir roulé sur cette question : Le Soleil est-il un feu pur ou un feu grossier; un feu qui se maintienne de lui-même, ou un feu ayant besoin d'alimens ; un feu éternel ou un feu susceptible de s'éteindre ? »

Nous laisserons là les anciens, ma sœur, et nous nous adresserons sux modernes.

« Après avoir remarqué combien les taches changent rapidement de figure, Galilée fut naturellement conduit à supposer qu'il existe, autour du Soleil, un fluide subtile, élastique. Les taches, à raison de leur imparfaite obscurité, furent assimilées à nos nuages.

« Si la Terre, dit l'illustre philosophe, était lumineuse par elle-même, et qu'on l'examinât de loin, elle offrirait les mêmes apparences que le Soleil. Suivant que telle ou telle région se trouverait derrière un nuage, on apercevrait des taches tantôt dans une portion du disque apparent, tantôt dans une portion différente; la plus ou moins grande opacité du nuage amènerait un affaiblissement plus ou moins grand de la lumière terrestre. A certaines époques, il y aurait peu de taches; ensuite on pourrait en voir beaucoup; ici elles s'étendraient, ailleurs elles se rétréciraient ; ces taches participeraient au mouvement de rotation de la Terre, en supposant que notre globe ne fût pas fixe ; et comme elles auraient une profondeur très-petite, comparativement à leur largeur, dès qu'el-

les approcheraient du limbe, leur diamètre s'arrondirait sensiblement. » (M. Arago).

Nous passons sous silence, ma Laurette, les *imaginatives* d'une foule d'honnêtes gens, et de gens savants qui faisaient jadis, du Soleil, une *masse fluide* dans laquelle nageaient des corps obscurs, ou qui croyaient au passage, sur le disque solaire, d'autres corps obscurs voyageant dans l'air, et nous arriverons d'un bond à l'opinion d'Alexandre Wilson :

« En 1774, l'ingénieux astronome prouva que les taches sont des excavations au fond desquelles se trouve la partie appelée *noyau*. Dès ce moment il admit que le Soleil est *composé de deux matières de nature très-différente*. La masse de l'astre, devint pour Wilson, *un corps solide, non lumineux et noir*. Cette grande masse était recouverte d'une *légère couche d'une substance enflammée* dont l'astre devait tirer toutes ses substances éclairantes et vivifiantes.

« Dans cette hypothèse, Wilson rendait compte de l'apparition des taches en supposant qu'un fluide élastique, élaboré dans la masse obscure du Soleil, s'élevait à travers la matière lumineuse, l'écartait la refoulait dans tous les sens et *laissait voir à nu une portion du globe obscur intérieur*. Les talus de l'excavation constituaient les pénombres. » (M. Arago.)

Cette explication, qui peut te paraître suffi-

sante, ma petite sœur, ne suffisait pas même à l'auteur; il l'avoue avec modestie, et il avoue encore ne *rien savoir* au sujet des facules.

Voyons les idées que Bode publia en 1776, sur la nature et la source des taches au Soleil :

« L'astronome allemand fait, du Soleil, un corps obscur comme notre Terre; solide en partie, en partie couvert de liquides; parsemé de montagnes, sillonné de vallées; enfin *enveloppé d'une atmosphère de vapeur et d'une atmosphère lumineuse*. La première empêche la seconde (l'atmosphère lumineuse) d'aller toucher le corps solide du Soleil.

« Lorsqu'une agitation quelconque, ajoute Bode, occasionne un déchirement dans l'atmosphère lumineuse, nous apercevons le noyau solide de l'astre, toujours très-obscur par rapport à la vive clarté qui l'entoure, mais plus ou moins sombre cependant, suivant que la portion ainsi découverte est une vaste mer, une vallée resserrée ou une plaine unie et sablonneuse.

« La nébulosité qui environne souvent les taches, poursuit l'astronome de Berlin, provient de ce que l'atmosphère lumineuse n'est *entièrement déchirée* que vers le milieu. A partir de ce point milieu, et jusqu'à une certaine distance, l'atmosphère lumineuse est seulement réduite d'épaisseur. La nébulosité peut donc exister seule, ou continuer à paraître après la disparition de la tache noire.

« L'auteur trouve l'explication des facules en donnant à l'enveloppe lumineuse du Soleil une forme irrégulière, plus ou moins élevée en certains endroits, plus ou moins déprimée dans d'autres. Les vagues de la mer, si apparentes quand on les voit du rivage, seraient peu visibles pour qui les observerait d'un point situé *verticalement* au-dessus d'elles. Telle est aussi la raison qui fait que les facules disparaissent ordinairement en allant du bord au centre. » (M. Arago.)

Je te vois d'ici, ma Laurette, toute prête à te déclarer satisfaite de cette explication; mais voici venir W. Herschel et M. Arago; silence donc et attention !

« Dans son mémoire de 1795, le grand astronome déclare être convaincu que la substance par l'intermédiaire de laquelle le Soleil brille, ne saurait être ni un liquide, ni un fluide élastique ; sans cela, dit-il, les *cavités* des taches et les ondulations de la surface pointillée seraient bientôt remplies.

« Cette substance doit donc être analogue à nos nuages et flotter dans l'atmosphère de l'astre.

« Les taches naissent (comme dans les idées de Wilson et de Bode) lorsqu'une cause quelconque ayant entr'ouvert l'enveloppe nuageuse et lumineuse du Soleil, on voit, par l'ouverture, le corps obscur intérieur ; de même qu'un observateur, situé dans la Lune, pourrait apercevoir

la partie solide de la Terre par les éclaircies de notre atmosphère, par les interstices que les nuages laissent entre eux.

« Herschel plaçait, entre le corps solide du Soleil et la couche extérieure de nuages phosphoriques, une couche atmosphérique plus compacte, beaucoup plus lumineuse, ou qui même ne brillait que par réflexion. La naissance d'une tache exigeait donc qu'il se formât des ouvertures correspondantes dans les deux atmosphères superposées. Les grandeurs relatives de ces ouvertures laissaient-elles apercevoir seulement le corps obscur du Soleil, c'était un noyau sans pénombre. L'œil découvrait-il en outre une certaine étendue de l'atmosphère intérieure, le noyau se montrait alors entouré d'une pénombre, ayant à peu près une masse uniforme, quelle que fût son étendue. Enfin, n'y avait-il d'ouverture que dans l'atmosphère lumineuse, on se trouvait dans le cas d'une pénombre sans noyau.

« Herschel reconnaissait que les deux atmosphères devaient avoir des mouvements tout-à-fait indépendants. Il ne paraît pas, toutefois, s'être jamais prononcé d'une manière catégorique, définitive, sur la question de savoir si elles sont en contact immédiat ou si un certain intervalle les sépare.

« Suivant ce grand astronome, un fluide élastique, d'une nature inconnue, se forme inces-

samment à la surface du corps obscur du Soleil et s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, à cause de sa faible pesanteur spécifique. Quand ce gaz est peu abondant, il engendre de *petites* ouvertures dans la couche inférieure des nuages réfléchissants, ce sont les *pores*.

« Le gaz, en arrivant dans la région des nuages lumineux, est brûlé ou combiné avec d'autres gaz. La lumière résultant de cette action chimique n'est pas également vive partout, de là les *rides*.

« Les nuages lumineux ne se touchent point parfaitement; les interstices qu'ils laissent entre eux permettent de voir les nuages intérieurs à l'aide de la réflexion qui s'opère sur leur surface. Cette réflexion étant comparativement faible, le Soleil doit paraître peu lumineux dans les endroits où elle a lieu. Le mélange de cette faible lumière réfléchie et de la vive lumière émise par les parties élevées des *rides*, doit donner au Soleil une apparence pointillée, tant qu'on n'emploie pas un très-fort grossissement.

« Un courant ascendant de gaz, plus fort que les courants générateurs des simples pores, donne naissance à de larges *ouvertures*. Si les nuages lumineux ne cèdent pas de suite à l'impulsion de la force qui tend à les séparer, ils s'accumulent près de l'*ouverture* et il en résulte des *facules* rondes ou allongées.

« Les courants ascendants les plus intenses

diminuent, sur une grande étendue, l'enveloppe continue que forment les nuages inférieurs; ils divergeront en continuant à s'élever entre les deux couches et opéreront dans l'atmosphère lumineuse une éclaircie plus étendue encore. *Dans le voisinage* de cette éclaircie, certaines parties du courant ascendant iront fournir un nouvel aliment à la combustion. De tout cela résulteront des noyaux, des *pénombres* et des *facules*.

. . . .

« Veut-on insister sur ce qu'il peut y avoir de douteux, d'incertain dans la théorie d'Herschel; je reproduirai d'abord cette remarque de Fontenelle : « *Il n'est pas étonnant que le philosophe bégaye* sur des choses si éloignées de la portée de nos yeux, et si faiblement aperçues; il l'est seulement qu'on ait été si loin et qu'on ait pu, par exemple, distinguer géométriquement deux atmosphères réelles au Soleil. » J'ajouterai ensuite que s'il m'était permis de sortir du cadre de cette notice, des phénomènes de polarisation permettraient, en plus d'un point, de substituer des faits positifs, des démonstrations catégoriques aux raisonnements simplement *bégayés* dont parlait l'ingénieux secrétaire de l'Académie des sciences. » (M. Arago.)

J'*ose* espérer, ma chère Laure, que ce cahier, plus volumineux que les autres, ne te paraîtra pas cependant trop long parce que le sujet est

intéressant par lui-même et par cette manière de le présenter qui n'appartient qu'à M. Arago. J'ajouterai donc encore quelques lignes dues au savant professeur.

D'abord : « Les taches au Soleil ne conservent pas constamment la même forme ; il y en a qui se divisent en morceaux et s'éparpillent. » Ensuite : « Les expériences sur la polarisation sont parvenues à un degré de certitude tel, qu'on peut aujourd'hui annoncer positivement que la portion visible du Soleil n'est ni une substance solide ni une substance liquide; c'est une substance gazeuse. »

Et enfin, ma sœur, il a été reconnu, au moyen d'une expérience *positive,* que cette substance gazeuse peut brûler, et par conséquent nous donner et la lumière et la chaleur, sans éprouver aucune perte. Nous n'avons donc pas à craindre de voir diminuer, de sitôt du moins, la puissance lumineuse et calorifique de l'*étoile* qui éclaire notre système planétaire.

VINGT-UNIÈME CAHIER.

CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE. — SES PHASES. — LUNE ROUSSE.

Tu as pu voir, ma chère Laure, par tout ce que contiennent mes précédents cahiers, combien la science de l'astronomie doit au télescope, instrument aujourd'hui si perfectionné. Sans son secours, l'homme serait resté dans une ignorance complète des merveilles de la voûte étoilée, et il dirait encore de l'astre qui est notre plus proche voisin dans l'espace, ce qu'en disait

Cléarque au rapport de Plutarque, traduit par Amyot, que c'est « le plus beau, le plus net mirouer en *polissure unie* et en lustre qui soit au monde; » il ajoutait, pour expliquer les taches que son disque montre même à l'œil nu : « Les images et figures de la grande mer océane apparaissent en la Lune comme en un mirouer. » (*Notice sur W. Herschel.*)

Tu remarqueras, en passant, que, dès la plus haute antiquité, il fut reconnu que la Lune n'était point lumineuse par elle-même, qu'elle n'était que le *miroir* du Soleil. Mais ce *mirouer* ne se distingue pas en *polissure unie,* il s'en faut, puisqu'il est hérissé de montagnes qui présentent la forme de cratères éteints, et puisqu'il est sillonné de vallées. Le *mirouer* ne réfléchit donc pas sur une surface *plane* les rayons du Soleil, et de là les taches que chacun peut découvrir sans lunette; de là les découpures de son croissant et de son disque lui-même.

« Des montagnes d'une grande hauteur s'élèvent à la surface de la Lune : leurs ombres, projetées sur la plaine, y forment des taches qui varient avec la position du Soleil. Au bord de la partie éclairée du disque lunaire, les montagnes se présentent sous la forme d'une dentelure qui s'étend au delà de la ligne de lumière, d'une quantité dont la mesure a fait connaître que leur hauteur est d'au moins trois mille mètres. On reconnaît, par la direction des ombres, que la

surface de la Lune est parsemée de profondes cavités, semblables aux bassins de nos mers; enfin cette surface paraît offrir des traces d'éruptions volcaniques; la formation de nouvelles taches, et les étincelles observées plusieurs fois dans la partie obscure, semblent même y indiquer des volcans en ignition. » (Laplace.)

Mais tu as entendu dire, sans doute, ma sœur, que la Lune n'a point d'atmosphère; et, sans air atmosphérique, par conséquent sans atmosphère, il ne peut y avoir de combustion ou de feu. Il ne s'y trouve pas davantage de glace ni de mer gelée; car la glace se vaporise, même dans le vide, et non-seulement aucune vapeur ne *voile* la Lune, mais encore le polariscope n'accuse, sur sa surface, aucune lumière polarisée; l'eau, la glace réfléchissent la lumière qu'elles reçoivent sous un certain angle, ce qui la polarise; nul effet de ce genre n'est produit au nouvel instrument inventé par M. Arago (1). Les volcans en ignition ne peuvent donc être, ainsi que le prouve M. Arago, qu'une illusion d'optique, et il n'est guère possible aujourd'hui de supposer que les aérolithes soient des pierres lancées par les volcans de la Lune, et qui nous arrivent en

(1) Par l'interposition dans la lunette d'un cristal de roche dont la propriété est de donner deux images parfaitement semblables de l'objet quand la lumière est *directe*, et de donner deux images d'inégales densités quand une portion de la lumière est *directe* et l'autre *réfléchie* ou *poralisée*, on a prouvé, avec la dernière évidence, que, dans la Lune, il n'y a ni glace ni mer gelée.

punition du *trait* que nous avons *fait* à notre satellite en *aspirant* son atmosphère, ce dont nous sommes *véhémentement* soupçonnés.

Non contents de lui avoir *soufflé son air*, nous autres *terriens*, nous nous amusons à nous moquer de notre voisine et à lui *prêter* des habitants, à elle qui a des jours et des nuits d'une longueur excessive, ce qui doit produire des températures *extrêmes* en chaleur et en froidure; à elle dont le sol doit être complétement vitrifié si l'on en juge par la quantité de cratères de volcans éteints que le télescope nous a fait découvrir; à elle enfin, à qui nous n'avons pas laissé un atome d'air respirable!

Ce fut en 1835 qu'un homme de beaucoup d'esprit, fort instruit, et qui a gardé l'anonyme publia, sous le nom de John Herschel, une relation des découvertes récentes faites dans la Lune, au moyen du magnifique télescope donné à l'astronome par le roi d'Angleterre. Le merveilleux télescope avait fait voir à John Herschel, qui était alors en observation au cap de Bonne-Espérance, des crêtes de montagne décrivant des courbes circulaires et elliptique; des rochers composés de cristaux mal développés; des plaines fertiles, des forêts, et enfin des *séléniens*, ou habitants de la Lune, *selène*: d'abord un bipède à jambes courtes, à peau de rhinocéros, armé d'une queue plate comme celle des castors, et ayant une tête triangulaire ornée de

cornes ; ce sélénien était de la taille d'un loup. Le hasard avait montré à l'astronome un échantillon du *peuple* de la Lune ; mais la *noblesse* sélénienne a une autre tournure. Le noble sélénien est un élégant bipède à la peau blanche, à la chevelure noire et touffue, aux ailes magnifiquement pennées de belles plumes qui rappellent celles de l'autruche. Il a des *armoiries*, oui, des armoiries, et il passe noblement sa vie à voleter çà et là, tandis que le vespertilion, qui appartient à la classe inférieure, travaille comme un esclave qu'il est. C'est le nègre du pays, ce que prouvent assez sa couleur gris-fauve et ses ailes de chauve-souris. Vient ensuite le castor, que John Herschel avait vu en premier, et qui lui avait donné si mauvaise idée des habitants de la Lune ; pour celui-ci, c'est l'esclave des esclaves, le journalier, l'homme de peine auquel sont dévolus les travaux les plus pénibles, les plus humiliants et les plus rudes.

Poursuivant ses observations avec la persévérance et la ponctualité qui distinguent les astronomes, John Herschel était parvenu, en plusieurs nuits, à connaître, avec l'exactitude la plus rigoureuse, les lois, les mœurs, les goûts des séléniens et à établir des rapports entre ce qui se passe dans la Lune et se qui se passe ici-bas ; de sorte qu'on pouvait dire qu'à la structure près, les séléniens valent les terriens.

Cette spirituelle plaisanterie, due à un Fran-

çais, ayant été reproduite par les journaux de New-York, le capitaine Caldwell l'envoya à John Herschel. Voici la réponse du grand astronome, réponse si remarquable pas sa simplicité et par sa modestie :

« Au capitaine Caldwell, sur le bâtiment américain LE LEVANT.

« Veldhauser, près Wymberg, Cap de Bonne-Espérance, 5 janvier 1836.

« Sir John Herschel présente ses compliments au capitaine Caldwell, et le remercie de lui avoir communiqué la fable singulière et artistement conçue, qui a paru dans le journal de New-York du 2 septembre 1835. Sir John Herschel serait bien aise de pouvoir la regarder un peu comme curiosité, et aussi comme nous faisant perpétuellement souvenir combien sont vaines les découvertes que toute notre science, si vantée, a jusqu'ici réalisées ou pourra réaliser dans les siècles à venir, en comparaison de ce qui nous est inconnu et de ce que nous ne soupçonnons pas même parmi ce qui est sous notre main ou à notre portée. Sir John Herschel serait heureux si le séjour du capitaine Caldwell au Cap le mettait à même de lui faire voir, par ses yeux, sur quelle humble échelle ses observations astronomiques sont conduites. »

Oui, sans doute, ma sœur, ce que l'homme sait ou croit savoir, est bien peu de chose ; mais ce peu de chose, il n'est pas permis aujourd'hui de

l'ignorer complétement; c'est pourquoi nous allons continuer la tâche que toi et moi nous avons entreprise.

Tu as appris, il y a longtemps, que le mouvement de rotation de la Lune a été reconnu par l'apparition et la disparition de la tache la plus centrale, celle de Manlius; tu as encore appris que cette révolution est lente, puisqu'elle s'opère précisément dans le même nombre de jours que la Lune emploie à accomplir son autre révolution qui la fait tourner autour de la Terre, c'est-à-dire 29 jours 12 heures 44′ 3″; d'où il suit que nous ne voyons jamais que le même hémisphère, qu'on n'a jamais vu et qu'on ne verra jamais que celui-là, quoi qu'en puisse dire un savant Espagnol, dont M. Arago a raconté dernièrement les rêveries, comme il sait raconter, c'est tout dire. Cet Espagnol prétend que l'hémisphère lunaire, que nous voyons, est un miroir convexe qui nous renvoie les rayons du Soleil; mais ce miroir est concave de l'autre côté, la Lune n'étant point une sphère, comme on l'a soutenu jusqu'à ce jour. Or, le monde (notre globe) devant périr par le feu, lorsque le jour de sa destruction sera venu, le miroir convexe sera changé en miroir concave par un brusque mouvement de rotation de la Lune sur elle-même, et les rayons du Soleil, condensés au foyer de ce terrible miroir, mettront le feu au globe, tout comme Archimède, avec son *miroir ardent*, mit jadis le feu à la

flotte ennemie dans le port de Syracuse. Il est malheureux, pour cette *ingénieuse* invention, que la petite oscillation, appelée *libration* de la Lune, et qui nous permet, chaque fois qu'elle a lieu, d'entrevoir un peu de l'hémisphère que notre satellite ne nous présente jamais, donne la *certitude* que la Lune est un corps sphérique, et qu'elle n'a point le *ventre creux*.

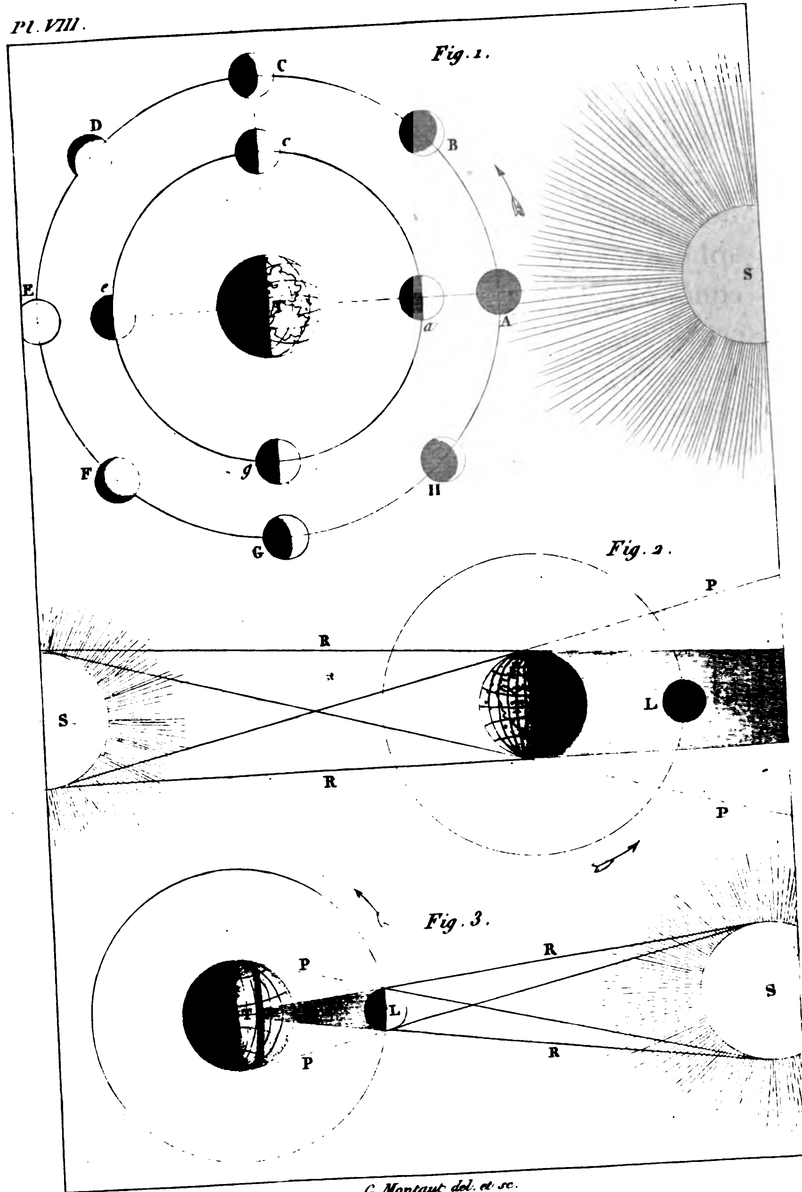
Oui, ma sœur, tu as *appris* tout cela, mais le sais-tu en effet? c'est-à-dire t'es-tu rendu compte du *comment* ont lieu les phases de la Lune? Dans le cas où tu le saurais, tu peux passer tout ce qui suit; dans le cas où tu ne le saurais pas, lis avec attention.

La Lune est, de même que les planètes, un corps opaque, et, de même aussi, elle nous devient visible, lorsque le Soleil éclaire l'un de ses hémisphères. Si la Lune ne tournait pas sur elle-même en tournant autour de la Terre, elle nous présenterait en *c* et en *g* des portions différentes de celles que nous lui verrions en *a* et en *e*, dans la figure que voici (1). Mais, à mesure que la Lune avance dans son orbite, elle tourne sur elle-même, et, peu à peu, celui de ses hémisphères que le Soleil éclaire, nous devient visible pour nous redevenir ensuite invisible.

La Lune en *A* c'est la nouvelle Lune; elle est *en conjonction*. Dans cette position, la partie

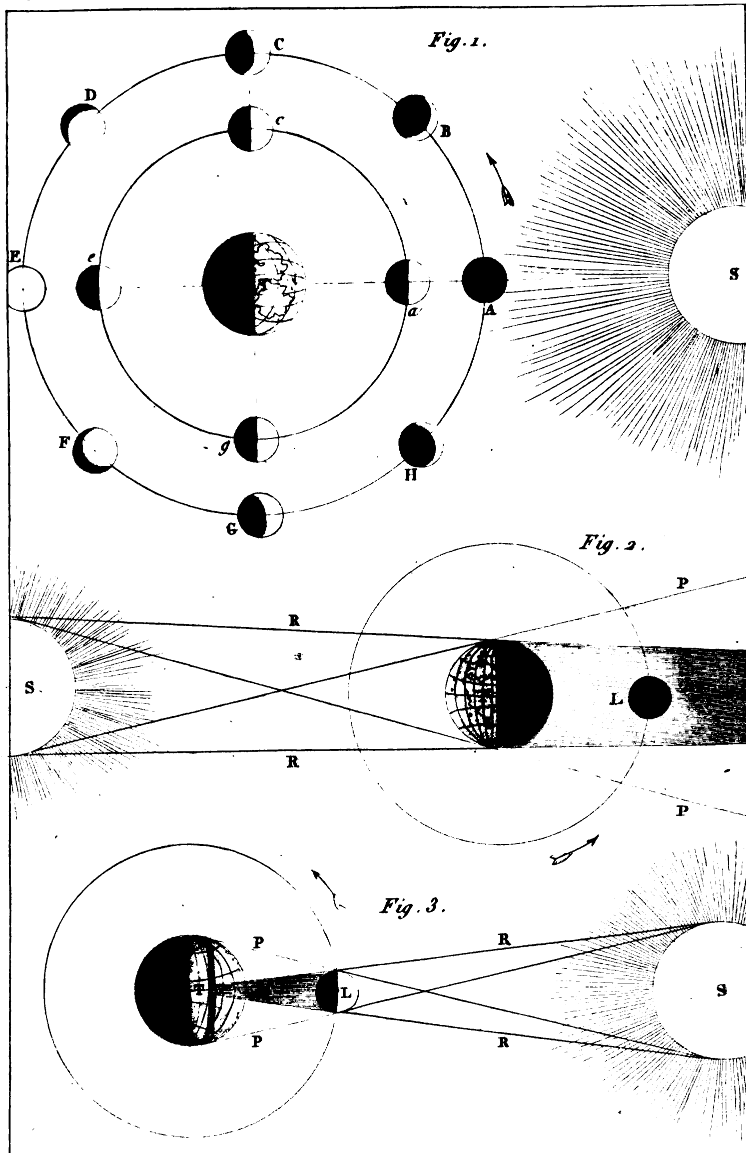
(1) Pl. VIII, fig. 1.

Pl. VIII.



G. Montaut del. et sc.

éclairée nous tourne le dos, si j'ose m'exprimer ainsi; nous ne voyons donc pas la nouvelle Lune. Mais elle avance chaque jour vers le premier octant; arrivée en *B*, qui est la huitième partie de l'orbite qu'elle décrit, une portion de l'hémisphère éclairé nous devient visible, d'abord comme un simple filet en forme de croissant; ce croissant va toujours en s'élargissant de *B* en *C*; en *C*, la Lune est à son premier quartier, nous voyons alors la moitié de l'hémisphère éclairé. De *C* en *D*, le disque de la Lune, tournant toujours sur elle-même, s'élargit de plus en plus; enfin, arrivée en *E*, la Lune se trouve *en opposition*, ou face à face avec le Soleil, et l'hémisphère entier réfléchit, vers la Terre, la lumière qu'il reçoit. La Lune continue sa route; mais maintenant elle est dans son décours, et ce décours suit, en sens contraire, les mêmes lois. En *F*, la Lune commence à ne plus nous montrer qu'une partie de l'hémisphère éclairé; au dernier quartier, en *G*, cet hémisphère ne présente plus que la moitié de sa surface; enfin, en *H*, dernier octant, il ne reste qu'un croissant dont la largeur va toujours s'amoindrissant par l'effet de la rotation de la Lune sur elle-même, et bientôt la Lune cesse de nous être visible. Tu n'as pas oublié, je pense, que l'on désigne par le mot de *syzygies*, les points où la Lune est nouvelle et pleine, c'est-à-dire en conjonction et en opposition avec le Soleil, et par celui de *quadratures*,



G. Montaut del. et sc.

éclairée nous tourne le dos, si j'ose
ainsi; nous ne voyons donc pas la
Mais elle avance chaque jour
octant; arrivée en *B*, qui est la
de l'orbite qu'elle décrit,
sphère éclairé nous
comme un simple filet
croissant va toujours en
en *C*, la Lune est à son
voyons alors la moitié
De *C* en *D*, le disque
jours sur elle-même,
enfin, arrivée en *E*,
sition, ou face à face
sphère entier réfléchit
qu'il reçoit. La Lune
maintenant elle est
cours suit, en sens
F, la Lune commence
qu'une partie de l'hém
nier quartier, en *G*,
plus que la moitié
dernier octant, il
la largeur va toujours
de la rotation de la
la Lune cesse de
oublié, je pense,
syzygies, les points
pleine, c'est-à-dire
tion avec le Soleil

les deux points où la Lune se trouve à son premier et à son dernier quartier.

Je t'entends d'ici me dire : Et les éclipses, mon frère? Allons doucement, ma petite sœur!

Ainsi donc la Lune *doit* avoir et a, en effet, un mouvement de rotation sur elle-même en même temps qu'un mouvement de translation autour de la Terre; il en est ainsi des satellites des autres planètes; et l'on peut présumer que les lunes de Jupiter, de Saturne, d'Uranus, exercent autant d'influence que la nôtre sur le phénomène du flux et du reflux de la mer; mais en ont-ils plus que notre Lune sur les changements de temps? C'est ce dont il est permis de douter. *Jusqu'à présent* les observations météorologiques, faites depuis trente ans dans diverses contrées, ne permettent pas de croire que la Lune ait la moindre influence sur la pluie et le beau temps. Comme c'est un amusement fort innocent que celui que prennent quelques personnes à consulter l'*âge* de la Lune pour savoir si, à une semaine pluvieuse, succéderont de beaux jours, ou si, à des jours secs, succédera une pluie vivement désirée, on peut le leur laisser sans inconvénient; mais quant à la Lune rousse, il faut absolument la dépouiller d'une prétendue malignité dont il dépend de nous, tu vas le voir, ma sœur, de défendre nos plantes. Voici ce que M. Arago dit à ce sujet:

« On croit généralement, surtout près de Paris,

que la Lune, dans certains mois de l'année, a une grande influence sur le phénomène de la végétation. Les savants ne se sont-ils pas trop hâtés de ranger cette opinion parmi les préjugés populaires qui ne méritent aucun examen?

«Les jardiniers donnent le nom de *lune rousse* à une lune qui commence en avril et devient pleine, soit à la fin de ce mois, soit, plus ordinairement, dans le cours de mai. Suivant eux, la lumière de la Lune exerce, dans les mois d'avril et de mai, une fâcheuse action sur les jeunes pousses des plantes. Ils assurent avoir observé que la nuit, quand le ciel est serein, les feuilles, les bourgeons exposés à cette lumière, roussissent, c'est-à-dire se gèlent, quoique le thermomètre, dans l'atmosphère, se maintienne à plusieurs degrés au-dessus de zéro. Ils ajoutent encore que si un ciel couvert arrête les rayons de l'astre et les empêche d'arriver jusqu'aux plantes, les mêmes effets n'ont plus lieu sous des circonstances de température d'ailleurs absolument pareilles.

« Ces phénomènes semblent indiquer que la lumière de notre satellite est douée d'une certaine vertu frigorifique : cependant, en dirigeant les plus larges lentilles, les plus grands réflecteurs vers la Lune, et plaçant ensuite au foyer des thermomètres très-sensibles, on n'a jamais rien aperçu qui puisse justifier une si singulière conclusion. Aussi, dans l'esprit des physiciens,

la *lune rousse* se trouve maintenant reléguée parmi les préjugés populaires, tandis que les agriculteurs restent encore convaincus de l'exactitude de leurs observations. Une belle découverte, faite par M. Wells il y a quelques années, me permettra, je crois, de concilier ces deux opinions en apparence contradictoires.

« Personne, avant M. Wells, n'avait imaginé que les corps terrestres, sauf le cas d'une évaporation prompte, pussent acquérir, la nuit, une température différente de celle de l'atmosphère dont ils sont entourés. Ce fait important est, aujourd'hui, bien constaté. Si l'on place en plein air de petites masses de coton, d'édredon, etc., on trouve souvent que leur température est de 6, de 7 et même de 8 degrés centigrades au-dessous de l'atmosphère de la température ambiante (environnante). Les végétaux sont dans le même cas. Il ne faut donc pas juger du froid qu'une plante a éprouvé pendant la nuit, par les seules indications d'un thermomètre suspendu dans l'atmosphère; la plante peut être gelée, quoique l'air se soit constamment maintenu à plusieurs degrés au-dessus de zéro.

« Ces différences de température, entre les corps solides et l'atmosphère, ne s'élèvent à 6, 7 ou 8 degrés du thermomètre centésimal que par un temps parfaitement serein. Si le ciel est couvert, la différence disparaît tout à fait ou devient insensible.

« Est-il maintenant nécessaire que je fasse ressortir la liaison de ces phénomènes avec l'opinion des agriculteurs sur la *lune rousse ?*

« Dans les nuits des mois d'avril et de mai, la température n'est souvent que de 4, 5 ou 6 degrés centigrades au-dessus de zéro. Quand ceci arrive, les plantes exposées à la lumière de la Lune *c'est-à-dire à un ciel serein*, peuvent geler nonobstant l'indication du thermomètre. Si la Lune, au contraire, ne brille pas, *si le ciel est couvert*, la température des plantes n'étant pas au-dessous de celle de l'atmosphère, il n'y aura pas de gelée, à moins que le thermomètre ne soit descendu à zéro. Il est donc vrai, comme le prétendent les jardiniers, qu'avec des *circonstances thermométriques* toutes *pareilles*, une plante pourra être gelée ou ne l'être pas suivant que la Lune sera *visible* ou *cachée derrière des nuages*; s'ils se trompent, c'est seulement en attribuant l'effet *à la lumière* de l'astre. La lumière lunaire n'est ici que l'indice d'*une atmosphère sereine ;* c'est par suite de la pureté du ciel que les plantes rayonnent la chaleur et se refroidissent; *si le ciel est couvert*, les nuages renvoient aux plantes une partie de la chaleur rayonnée, et il n'y a ni rosée ni gelée blanche. Que la Lune soit donc couchée ou sur l'horizon, les plantes gèleront *par un ciel serein*, et ne gèleront point *par un ciel couvert*. L'observation des jardiniers était *incomplète ;* c'est à tort qu'on la supposait *fausse*. »

Ils ont donc *raison*, ma sœur, de garantir les plantes contre la *sérénité* de la nuit, en les couvrant avec des cloches de verre, des toiles ou des paillassons; mais ils ont *tort* de croire qu'il faut les garantir des *rayons lunaires* tout à fait inoffensifs, tu le vois, et qui n'ont même aucune influence chimique, appréciable du moins.

Au prochain numéro les éclipses.

VINGT-DEUXIÈME CAHIER.

LES ÉCLIPSES.

Tu me reproches, ma chère Laure, de ne t'avoir parlé ni des perturbations que la Lune éprouve dans sa révolution autour de la Terre, et qui l'ont fait surnommer *capricieuse*, *bizarre*, ni de la lumière cendrée, deux choses que tu n'as *jamais* pu comprendre, dis-tu. Tu vas voir que tu les aurais comprises si tu avais lu ton traité d'astronomie avec la même attention que tu ac-

cordes à mes cahiers, et tu vas voir, de plus, que tu sais une partie au moins de ces choses-là.

« Quand la Lune est nouvelle ou en *conjonction*, elle se trouve naturellement beaucoup plus près du Soleil que dans aucune autre de ses phases, et, naturellement aussi, l'attraction solaire s'exerce sur elle avec plus d'intensité, et la distance de la Lune à la Terre est augmentée. Lorsqu'au contraire la Lune est en opposition, la Terre, plus fortement attirée par le Soleil, se trouve plus éloignée de son satellite. Dans les quadratures, c'est l'action de la Terre qui prédomine. L'effet immédiat de ces alternatives est d'influer sur la vitesse du mouvement de la Lune; il se ralentit en effet de la conjonction à la première quadrature et il s'accélère de cette première quadrature à l'opposition, pour diminuer de nouveau jusqu'à la seconde quadrature, puis, pour augmenter de nouveau jusqu'à la conjonction. Ces inégalités ont reçu le nom de *variations*. »

Voilà, il me semble, des choses dont tu peux te rendre compte clairement, et que tu peux clairement comprendre par conséquent.

« Mais la Lune accompagne la Terre dans le mouvement de celle-ci autour du Soleil; la Terre, dans ce mouvement, s'approche plus ou moins de cet astre; ce changement dans les distances doit apporter des modifications aux variations que nous venons de décrire; cette nouvelle espèce d'inégalités a reçu le nom d'*équation annuelle*.

« La force d'attraction que la Terre exerce sur son satellite varie encore d'intensité selon que la Lune est *apogée* ou *périgée*, et laisse par conséquent plus ou moins d'influence à l'attraction solaire. De là des allongements ou des raccourcissements dans l'orbe lunaire, inégalités qu'on appelle *évections*.

« Enfin, le mouvement rétrograde des nœuds et le changement d'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique s'expliquent encore par l'attraction. Ce mouvement des nœuds de l'orbe lunaire, a dit M. Arago, et les variations de son inclinaison sur l'écliptique, sont dus à l'action du Soleil. En effet, lorsque la Lune, dans son mouvement autour de la Terre, se rapproche du plan de l'écliptique, la force d'attraction du Soleil la fait descendre, et devance ainsi le mouvement où elle doit couper le plan de l'écliptique. » (Louvet.)

De nouvelles inégalités ont été découvertes; il en est une qu'on nomme l'*équation séculaire ;* les autres ont reçu le nom de *perturbations.*

Tu vois que les *caprices* et les *bizarreries* de de la Lune sont tout à fait *en dehors* de sa *volonté*, qu'elle n'y entre pour rien, et qu'il ne dépend point d'elle de s'en corriger. Elle n'est pas la seule, au reste, à éprouver des perturbations; voici ce que dit à ce sujet notre immortel Laplace: « Si les planètes n'obéissaient qu'à l'action du Soleil, elles décriraient autour de lui des orbes elliptiques ; mais elles agissent les unes sur les

autres; elles agissent également sur le Soleil, et, de ces attractions diverses, il résulte, dans leurs mouvements elliptiques, des perturbations que les observations font entrevoir et qu'il est nécessaire de déterminer pour avoir des tableaux exacts des mouvements des planètes. »

Ainsi donc ces corps célestes, que nous croyons indépendants les uns des autres, ne le sont pas, tu le vois; ainsi donc la loi de l'attraction ou pesanteur agit du plus grand au plus petit et du plus petit au plus grand, et avec une telle mesure que les perturbations ne vont jamais au delà de ces limites d'où résulte la plus admirable harmonie!... Mais nous reviendrons sur ce magnifique sujet; il mérite toute notre attention et toute notre admiration.

Reprends à présent mon dernier cahier et suis, en regardant la figure qu'il contient, l'explication de la lumière cendrée.

La Lune nous renvoie les rayons réfléchis du Soleil; la Terre doit envoyer à la Lune les rayons réfléchis du Soleil, et, comme sa surface est près de seize fois plus grande que celle de la Lune, cette lumière doit être beaucoup plus intense. La nouvelle lune, en *A*, est en conjonction avec le Soleil, la Terre est, au contraire, en opposition; la Lune a donc *pleine terre* au moment où la Terre a nouvelle lune; elle est donc éclairée par les rayons que réfléchit la Terre, à laquelle elle renvoie ces mêmes rayons qu'elle réfléchit à son tour, et qui

nous reviennent fort affaiblis. Dès que la conjonction de la Lune cesse, elle ne reçoit plus qu'*une partie* des rayons réfléchis par la Terre, comme en *B*, comme en *C;* partie qui va toujours en diminuant, puisqu'à mesure que l'âge de la Lune augmente, la Terre lui présente une moindre portion de sa partie éclairée. Ce sont donc les rayons *terrestres* (nous pouvons bien nous servir de cette épithète, puisque nous nous servons de celle de rayons *lunaires*) qui produisent le phénomène appelé *lumière cendrée*, lumière qui nous rend visible l'hémisphère entier de notre satellite pendant le crépuscule, le matin surtout.

Pourquoi le matin plutôt que le soir? diras-tu peut-être?

«La Terre n'est pas homogène; il y a plus d'eau que de continents. L'eau absorbe une grande partie des rayons lumineux, le sol les réfléchit davantage. Quand le globe présente vers la Lune sa partie solide, qui sont les continents d'Europe, d'Asie, d'Afrique, la lumière cendrée est plus intense; c'est le matin que la Terre est ainsi disposée, ce qui explique pourquoi la lumière cendrée est plus sensible le matin que le soir. Lorsqu'au contraire la Terre présente vers la Lune sa partie aqueuse, la lumière cendrée est plus faible.» (M. Arago.)

M. Arago a dit encore, dans l'une de ses dernières leçons, que le plus ou moins d'éclat de la

lumière cendrée, le matin, peut nous donner *des nouvelles* de l'*état atmosphérique* de l'Europe, de l'Asie, de l'Afrique. En effet, si l'atmosphère de ces continents se trouve chargée de nuages, la lumière cendrée doit être plus faible qu'alors que l'atmosphère est pure, puisque cette lumière cendrée n'est autre chose que les rayons réfléchis sur la Lune par la Terre même. Voilà une manière ingénieuse et prompte de savoir s'il fait beau ou s'il pleut dans les continents d'Europe, d'Asie et d'Afrique.

Passons maintenant aux éclipses de Lune et de Soleil.

« Les éclipses de Lune n'arrivent jamais que lorsque la Lune est dans son plein. Comme les anciens Chaldéens l'avaient eux-mêmes remarqué, la Terre est un corps opaque qui, quand il est frappé d'un côté par la lumière solaire, projette de l'autre un cône d'ombre, où cette lumière ne pénètre pas. Ce cône d'ombre dont la base est le diamètre de la Terre, base connue, peut-il aller jusqu'à la Lune dont la base est aussi connue? La géométrie et le calcul fournissent les moyens de s'assurer qu'il peut aller beaucoup au delà. (Oui, sans doute, ma sœur, puisque ce cône d'ombre atteint la distance de 300 mille lieues; et la Lune, tu le sais, est à la distance de 95 mille lieues seulement).

« Il semblerait qu'il dût y avoir une éclipse tous les mois, puisque tous les mois la Terre se

trouve en opposition avec le Soleil. Cela n'arrive pourtant pas ainsi. C'est que le plan de l'orbite de la Lune ne coïncide pas avec celui de l'écliptique; mais il en est à 5°, de sorte que les trois corps ne sont pas toujours sur la même ligne à l'époque de la pleine Lune. Ce sont les distances de la Lune à l'écliptique qui déterminent s'il y aura ou s'il n'y aura pas éclipse de Lune. Si, à la pleine Lune, cette distance est plus petite que la demi-épaisseur du cône d'ombre de la Terre, il y aura éclipse.

« L'atmosphère terrestre réfracte les rayons lumineux. Chacun a pu voir que la Lune et le Soleil à l'horizon sont plus rouges qu'au zénith. Les rayons lumineux sont rouges, lorsqu'ils ont traversé une grande étendue d'air. Aussi la lumière cendrée de la Lune paraît-elle rouge dans les éclipses de Lune périgée, et non dans les éclipses de Lune apogée.

« Quand la Lune est périgée, son diamètre est vu de la Terre sous un angle plus ouvert que le diamètre du Soleil; alors, si les centres des deux astres se correspondent, et que la Lune soit en conjonction, comme elle paraît plus grande que lui, s'il y a éclipse de Soleil, elle sera totale. Si la Lune est apogée et si les centres du Soleil, de la Lune et de la Terre sont sur une même ligne, l'éclipse du Soleil sera annulaire; elle sera partielle, si les centres ne se correspondent pas exactement, et que la Lune soit apogée.

« Dans l'éclipse annulaire, la Lune paraît comme une plaque noire sur le milieu du disque solaire.

« L'éclipse totale ne produit pas une obscurité complète, parce qu'il reste toujours autour de la Lune une espèce d'auréole lumineuse, qui permet de voir les étoiles de première et de seconde grandeur.

« Halley et le chevalier de Bouville ont cherché à expliquer cette auréole en prétendant avoir vu, sur le disque lunaire, une quantité de feux répétés avec fréquence comme des éclairs, d'où ils ont tiré la conséquence que les rayons solaires éprouvent une certaine inflexion autour de la Lune, ce qui, dans leur opinion, indiquerait la présence d'une atmosphère lunaire.

« Quoique l'obscurité ne soit pas complète dans une éclipse totale, cependant cette obscurité succède subitement à la lumière, et elle suffit pour effrayer les animaux; les poules vont se coucher; les chevaux et les bœufs effrayés refusent de continuer leurs travaux et s'arrêtent tout court.

« Il y a cette différence entre les éclipses de Lune et celles de Soleil, que celles de Lune sont visibles de tous les points de la terre pour lesquels la Lune est à l'horizon. La lumière est éteinte dès que le satellite est entré dans le cône d'ombre de la Terre, et elle disparaît de la même manière pour tous les observateurs, quelle que

soit leur position sur la Terre; au lieu que lorsque le Soleil est éclipsé, l'absence ou la diminution de la lumière qu'il nous envoie est dépendante de la position des différents points du globe relativement à la Lune qui la cache, parce qu'il ne se présente pas de la même manière à ces différents points. On sait, par exemple, qu'il est midi à Vienne une heure avant qu'il soit midi à Paris. L'éclipse de Soleil peut donc commencer plus tôt à Constantinople et à Vienne qu'à Paris. Ainsi l'éclipse solaire de 1820, qui était partielle à Paris, a été vue annulaire à Dresde et à Strasbourg. Le corps opaque qui s'interpose entre le Soleil et nous peut le masquer plus ou moins, selon la position des lieux de la Terre où est l'observateur. » (M. Arago.)

Voici, ma sœur, deux figures (1) qui te montreront que le cône d'ombre porté par la Terre, et que le cône d'ombre porté par la Lune, sont accompagnés d'une pénombre. C'est dans la pénombre que pénètre d'abord la Lune, et l'éclipse de Lune commence. La lumière de notre satellite, à son entrée dans la pénombre, se trouve sensiblement affaiblie; cet affaiblissement augmente à mesure qu'il approche du cône d'ombre, et la Lune disparaît enfin totalement lorsqu'elle s'y est plongée. L'éclipse a lieu au même moment, tu dois le concevoir, pour tous les observateurs situés sur

(1) Planche VIII.

l'hémisphère terrestre qui, au moment de l'éclipse, est privé de lumière; et ceci achève de prouver que la Lune n'est point un corps lumineux par lui-même; qu'elle n'est en effet qu'un miroir dans lequel se réfléchissent les rayons du Soleil.

Mais, me diras-tu peut-être, d'où vient-elle cette pénombre, et comment se fait-il que le cône d'ombre de la Terre ne soit pas nettement tranché?

Je te répondrai : « Une ombre n'est autre chose que l'obscurité produite sur une surface donnée par l'intervention d'un corps opaque qui empêche les rayons de lumière d'atteindre la portion de l'espace placée derrière ce corps. »

Ainsi la Terre *T*, fig. 2, intervient entre le Soleil *S* et la Lune *L* qui se trouve dans l'espace placé derrière la Terre, n'est-il pas vrai? Les rayons du Soleil ne peuvent donc pas *atteindre* la Lune, et la Lune est éclipsée.

« Mais le passage entre la partie obscure et la partie parfaitement éclairée ne se fait pas d'une manière tranchée : la portion de l'espace qui ne reçoit qu'une partie de la lumière est appelée *pénombre.* »

C'est ce que te présente cette fig. 2. La portion de l'espace *PP* reçoit une partie de la lumière que donnent les rayons du Soleil, qui se dirigent et se croisent dans tous les sens, et non pas seulement dans le sens indiqué par les rayons *RR*, et, de chaque côté du cône d'ombre est une *pé-*

nombre qui va en s'élargissant à mesure que le diamètre du cône d'ombre diminue.

Le même effet se trouve produit dans la fig. 3, qui te présente une éclipse de Soleil. Le cône d'ombre de la Lune est aussi accompagné d'une pénombre ; mais le cône d'ombre et sa pénombre ne sont pas ce qui éclipse le Soleil ; c'est le corps même de la Lune qui nous le cache. Cette figure 2 te montre en outre comment l'éclipse de Soleil ne peut être totale qu'en un point du globe et comment elle doit être partielle ou même invisible pour tous les autres points.

« La Lune et le Soleil n'étant pas à une égale distance de la Terre, des observateurs diversement placés ne projettent pas les deux astres sur les mêmes points du ciel. Voilà comment il arrive qu'une éclipse totale, en certains lieux, est seulement partielle dans d'autres ; voilà comment Paris, par exemple, n'a vu quelquefois aucune trace de telle éclipse partielle de Soleil qui a été apparente à Toulouse, et réciproquement. — Les tables du Soleil et de la Lune prouvent que, terme moyen, on peut observer sur toute la Terre 70 éclipses en dix-huit ans ; 29 de Lune et 41 de Soleil.

« Jamais, dans une année, il *n'y a plus de sept* éclipses, et jamais *il n'y en a moins de deux*. Quand le nombre des éclipses est réduit à deux dans une année, elles sont toutes les deux de Soleil.

« Dans chaque période de dix-huit ans, il y a,

terme moyen, 28 éclipses de Soleil *centrales*, c'est-à-dire susceptibles de devenir, suivant les circonstances, annulaires ou totales : mais comme la zone terrestre, le long de laquelle l'éclipse peut avoir l'un ou l'autre de ces deux caractères, est très-étroite, dans un lieu donné les éclipses totales ou annulaires sont extrêmement rares.

« Halley trouvait, en 1715, qu'à partir du 20 mars 1140, c'est-à-dire dans une période de 575 ans, il n'y avait pas eu, à Londres, une seule éclipse totale de Soleil. Depuis l'éclipse de 1715, Londres n'en a vu aucune autre. A Montpellier, beaucoup mieux favorisé par la combinaison des éléments divers qui concourent à la production du phénomène, nous trouvons des éclipses totales : le 1er janvier 1385; le 7 juin 1415; le 12 mai 1706; le 8 juillet 1842.

« A Paris, pendant le XVIIIe siècle, on n'a vu qu'une éclipse totale de Soleil, celle de 1724; dans le XIXe siècle, il n'y en a pas eu encore et *il n'y en aura pas*.

« La plus grande durée possible d'une éclipse est de 4 heures 29′44″, le long de l'équateur, et, sous le parallèle de Paris, elle est de 3 heures 26′32″. » (Notice sur W. Herschel.)

Je terminerai ce cahier, ma chère Laure, par une citation qui te sera agréable puisqu'elle te fera *entrevoir* du moins *comment* il est possible de prédire, avec la dernière certitude, le moment précis d'une éclipse.

« Les éclipses, si longtemps l'objet de la frayeur des hommes, n'excitent plus aujourd'hui que leur curiosité. Dans les temps les plus reculés de l'antiquité, une éclipse était regardée comme une alarmante déviation des lois de la nature, et les philosophes eux-mêmes partageaient ces idées superstitieuses. Anaxagore est le premier qui ait écrit, au temps de Périclès, sur les différentes phases de la Lune et sur les éclipses. Hérodote dit bien que Thalès annonça une éclipse de Soleil, mais ce ne fut pas sans doute par un moyen astronomique; ce fut probablement par le moyen de la période chaldéenne de 18 ans et 11 jours, qui ramenait les éclipses de Soleil et de Lune dans le même ordre et qui était probablement connue de ce fondateur de l'école ionienne.

« Avant Hipparque, les astronomes étaient peu capables de prédire les éclipses. Néanmoins les tentatives de l'astronomie pour expliquer ce phénomène et en prédire le retour, remontent à une époque fort ancienne dans l'histoire. Partout la découverte des véritables causes des éclipses de Soleil a précédé la connaissance de celles de la Lune.

« Ce qu'il faut surtout admirer, ce sont les ingénieuses méthodes qui furent employées par les premiers astronomes pour arriver à ce but. La Chine, ce berceau de la science astronomique, avait eu, avant tous les autres peuples, connaissance du retour des éclipses, car on lit dans

les historiens que, sous le règne de Tchong-Kang, il y eut, à l'approche de l'équinoxe d'automne, une éclipse de Soleil, et que les astronomes Ho et Hi furent condamnés à mort, pour ne l'avoir pas prévue, comme la loi leur en faisait un devoir.

« Les plus anciennes observations d'éclipses rapportées par Ptolémée sont trois éclipses de Lune observées à Babylone, dans les années 719 et 720 avant l'ère vulgaire.

« Les peuples regardaient tout ce qu'ils appelaient les *prédictions* des astronomes relativement aux éclipses, comme des opérations tenant du prodige. On lit dans Plutarque qu'Hélicon de Cyzique, ayant annoncé une éclipse de Soleil à Denys, tyran de Syracuse, et ce phénomène ayant eu lieu aux jour et heure indiqués, reçut de ce prince un talent, ou 5,400 francs de notre monnaie. Tite-Live rapporte, sous la date du 3 septembre, an 401 avant J.-C., que le peuple romain regardait comme prodige l'annonce d'une éclipse de Lune faite par Caïus Sulpicius Gallus. Ce phénomène devait avoir lieu dans la nuit qui précéda le jour où Paul-Emile défit Persée. Gallus l'annonça aux soldats et leur en expliqua les causes; il dissipa ainsi la frayeur que cet événement imprévu aurait pu leur causer. » (L. vicomte de Pontécoulant.)

Aujourd'hui, ma sœur, chaque *prédiction* d'éclipse ne vaut pas à son auteur un *talent*;

mais elle lui vaut, de la part des ignorants, la même admiration *stupide* que du temps de Denys le tyran, et, de plus, celle, fort digne d'envie, des gens instruits. Ceux-ci savent combien les travaux de plusieurs siècles ont apporté de certitude en ce qui touche les mouvements des corps célestes, et aussi de combien de travaux encore ces mouvements sont toujours l'objet. M. de Pontécoulant a donc pu dire aux *demi-savants*, c'est-à-dire à ceux qui se contentent de parcourir leurs livres d'études sans étudier sérieusement et qui osent douter, pourtant, de vérités si bien établies : « La précision avec laquelle on est parvenu à calculer et à prédire la durée, l'étendue, l'instant des éclipses, doit convaincre de toute l'exactitude des tables astronomiques, ces circonstances dépendant de la situation relative du Soleil, de la Lune et de le Terre, de leur volume, de leur vitesse et de leurs parallaxes. »

VINGT-TROISIÈME CAHIER.

LES PLANÈTES.

Tu m'écris, ma sœur, que tu ne mérites pas le *coup de patte* par lequel j'ai terminé mon dernier cahier; que tu n'appartiens pas aux *demi-savants* qui se contentent de parcourir leurs livres d'études sans jamais étudier, et tu le prouves, dis-tu, en me reprochant de n'avoir pas mis les occultations de planètes et d'étoiles par la Lune au nombre des éclipses. Je suis ravi

de m'être suscité cette petite querelle qui me prouve que non-seulement tu étudies, mais que tu réfléchis sur tes études. Cependant je te dirai que, dans les occultations des planètes et des étoiles par la Lune, ne se retrouve pas le caractère inhérent aux éclipses. La Lune nous cache bien les planètes, les étoiles devant lesquelles elle passe; mais il n'en résulte pas ce cône d'ombre qui appartient aux éclipses proprement dites. Le passage de Vénus sur le disque solaire est, par exemple, une véritable éclipse d'une petite partie de ce disque; seulement, cette éclipse a lieu à une telle distance de la Terre, que le cône d'ombre qui en résulte nous demeure insensible. Il n'est pas besoin, je pense, de plus longues explications sur les différences qui distinguent l'occultation de l'éclipse; je m'arrête donc, ou plutôt je passe des éclipses aux planètes et aux comètes.

« Si les planètes sont habitées comme notre Terre, les conditions de la vie animale doivent y être modifiées sous trois rapports principaux. D'abord, en raison de la différence dans la quantité de lumière et de chaleur qu'elles reçoivent du Soleil; en second lieu, à cause des inégalités dans l'intensité de la pesanteur à leurs surfaces, ou dans le rapport de l'*inertie* et le *poids* du corps; troisièmement, à cause de la diversité des matières qui les constituent, à en juger d'après ce que nous savons de leurs densités moyennes.

L'intensité de la radiation solaire est environ 7 fois plus grande pour Mercure que pour la Terre, et pour Uranus 330 fois moindre; de sorte que si l'on compare les deux termes extrêmes, le rapport sera celui de plus de 2,000 à 1. Qu'on se figure l'état de notre globe si la radiation solaire était septuplée, ou réduite à sa 300me partie! D'un autre côté, l'intensité de la pesanteur, ou la puissance répressive de la force musculaire et de l'activité animale, est à peu près triple sur Jupiter de ce qu'elle est sur la Terre; sur Mars elle n'est que le tiers de la pesanteur terrestre; sur la Lune un sixième; sur les quatre petites planètes probablement un vingtième seulement.— Enfin, la densité de Saturne n'est guères qu'un huitième de la densité moyenne de la Terre, en sorte que les matériaux constitutifs de cette grosse planète ne doivent pas être beaucoup plus denses que le liége. D'après la variété des combinaisons entre les éléments, dont l'influence sur la vie est si grande, quelle diversité ne faut-il pas admettre dans les conditions de ce grand problème qui a pour objet la conservation de l'existence animale et intellectuelle, de la vie et du bonheur; de ce problème qui, à en juger par ce que nous voyons autour de nous, et par la profusion d'êtres vivants qui peuplent chaque coin de notre globe, est le constant et digne objet sur lequel s'exercent la bienfaisance et la sagesse souveraines!

« Mais quittons la région des spéculations pures et voyons ce que le télescope nous apprend de la constitution de chaque planète en particulier.

« Nous ne savons guère autre chose de Mercure, sinon qu'il est rond et qu'il laisse apercevoir des phases; sa petitesse et sa grande proximité du Soleil mettent obstacle à ce que nous connaissions mieux sa nature. — On ne peut saisir non plus des particularités bien remarquables sur Vénus.—Elle est la plus difficile de toutes les planètes à voir dans les télescopes. Le grand éclat de la partie éclairée produit des scintillations de lumière qui amplifient tous les défauts de l'instrument optique. — La conséquence la plus naturelle qu'on puisse tirer de la rareté et de la non-permanence des taches de ces deux planètes (qui ont des phases), c'est que nous n'en voyons pas les surfaces proprement dites, comme nous voyons celles de la Lune, mais seulement les atmosphères chargées sans doute de nuages destinés à tempérer l'éclat brûlant du Soleil.

« Le cas est différent pour Mars. On distingue très-nettement sur cette planète des contours qui peuvent séparer des continents et des mers.— Les parties qu'on peut regarder comme des continents se distinguent à la couleur rouge qui caractérise en général la lumière toujours rutilante (qui a l'éclat de l'or) de cette planète, et qui indique sans nul doute cette teinte ocreuse du

sol, semblable à celle que nos terrains de grès rouge pourraient offrir aux habitants de Mars. Par un contraste qui rentre dans une loi générale de l'optique, les régions que nous comparons à des mers paraissent *verdâtres*. On ne voit pas toujours ces taches d'une manière aussi distincte; mais, *lorsqu'on les voit*, elles offrent toujours la même apparence. Ceci tient sans doute à ce que la planète n'est pas entièrement dépourvue d'atmosphères et de nuages, et ce qui donne un nouveau degré de probabilité à cette opinion, c'est l'aspect de taches d'un blanc brillant vers les pôles et qu'on a regardées avec grande vraisemblance comme des amas de neige, parce qu'elles disparaissent après avoir été longtemps exposées aux rayons solaires, et qu'elles atteignent au contraire leurs plus grandes dimensions après les longues nuits des hivers polaires.

« Passons à la plus magnifique des planètes, à Jupiter, dont le diamètre n'a pas moins de 31,000 lieues, et dont le volume excède de près de 1,300 fois le volume de la Terre. Cette planète est escortée de quatre lunes ou satellites, ou planètes secondaires, ainsi qu'on les appelle parfois, qui l'accompagnent sans cesse, et qui tournent autour d'elle comme la Lune tourne autour de la Terre, et dans la même direction, formant avec leur planète *vrincipale* un système en miniature parfaitement analogue au grand système dont la planète centrale fait partie; assujetti aux mêmes

lois et manifestant de la même manière l'influence de la gravitation.

« Le disque de Jupiter paraît toujours croisé, dans une certaine direction, par des bandes ou zones obscures. — Ces bandes ne sont pas les mêmes en tout temps; elles varient quant à leur grandeur et à leur position sur le disque, mais jamais quant à leur direction générale. On les a même vues se rompre et se disperser sur toute la surface de la planète; mais ce phénomène est extrêmement rare.—L'observation attentive de ces bandes a fait connaître que la planète tourne autour d'un axe perpendiculaire à la direction des bandes dans la période étonnamment courte de 9 heures 55′ 50″ en temps sidéral. Or, une circonstance très-remarquable, et qui confirme de la manière la plus satisfaisante le raisonnement par lequel nous avons rattaché la figure sphéroïdale de la Terre à son mouvement de rotation diurne, c'est que la circonférence du disque de Jupiter n'est évidemment pas circulaire, mais elliptique et considérablement aplatie dans le sens de l'axe de rotation. — *L'aplatissement observé de Jupiter, est précisément celui que la théorie donne, d'après les dimensions de cette planète et la durée de sa rotation.* (Fais attention à ceci, ma sœur, je te prie; cet aplatissement est, pour Jupiter, d'un quatorzième, tandis qu'il n'est, pour la Terre, que d'un trois cent sixième.)

« Le parallélisme des bandes à l'équateur de Jupiter, leurs variations accidentelles, et les taches qu'on y observe, rendent extrêmement probable l'opinion que ces bandes subsistent dans l'atmosphère de la planète, et qu'elles correspondent à des tranches plus transparentes de cette atmosphère, formées par des courants analogues à nos vents alisés, mais beaucoup plus impétueux et mieux marqués, comme cela doit être d'après une si prodigieuse vitesse de rotation. La circonstance que les bandes ne s'étendent pas jusqu'aux bords du disque, mais s'affaiblissent graduellement avant d'y atteindre, annonce évidemment que ces bandes nous laissent voir le corps, comparativement plus obscur, de la planète.

« Un mécanisme encore plus merveilleux, et, s'il est permis de le dire, plus artistement élaboré, s'observe sur Saturne, planète qui vient après Jupiter dans l'ordre des distances, sans lui céder beaucoup en grandeur, puisque son diamètre réel est de 28,000 lieues, et que son volume est 1,000 fois plus grand que celui de la Terre.— Ce vaste globe n'a pas moins de sept lunes ou satellites pour l'escorter; et, en outre, il est entouré de deux anneaux plats, larges et très-minces, qui sont séparés l'un de l'autre par un très-petit intervalle, et, de la planète, par un espace beaucoup plus considérable. »

« L'anneau est un corps solide, opaque, ainsi

qu'on le voit par l'ombre qu'il projette sur la planète du côté le plus voisin du Soleil, et par l'ombre que la planète projette sur lui du côté opposé. Le parallélisme des bandes au plan de l'anneau pouvait faire conjecturer que l'axe de rotation de la planète est perpendiculaire à ce plan, et cette conjecture a été vérifiée dans les circonstances où la planète laissait voir, à sa surface, des taches sombres d'une grande étendue. On a appris ainsi que la rotation de la planète a lieu en 10 heures 18′0 de temps sidéral. »

Suivant la position de la Terre dans son orbite, si petite comparativement à celle de Saturne, « l'anneau paraît comme une ligne droite, très-déliée, qui croise le disque et le dépasse des deux côtés ; mais la finesse en est telle que, pour l'apercevoir, il faut des télescopes d'une extrême puissance. Ce phénomène remarquable se reproduit à des intervalles de 15 ans; mais la disparition de l'anneau est en général double, par suite de la lenteur du mouvement de Saturne qui donne à la Terre le temps de rencontrer deux fois le plan de l'anneau avant que celui-ci soit entraîné loin de l'orbite terrestre. Lorsque la planète s'éloigne des nœuds où l'anneau disparaît, la ligne visuelle fait un angle de plus en plus grand avec le plan de l'anneau ; et, d'après les lois de la perspective, celui-ci prend la forme d'une ellipse.

« On doit naturellement se demander comment

un si vaste arceau peut se soutenir sans crouler vers la planète au cas qu'il soit formé de matériaux solides et pondérables? Cette difficulté est résolue par la rotation de l'anneau dans son propre plan, que l'observation de quelques points de sa surface, un peu moins brillants que les autres, a fait découvrir, et qui a pour période 10 heures 29′ 17″ c'est-à-dire (d'après ce que nous savons des dimensions de l'anneau et de l'intensité de la gravitation dans le système de Saturne) à très-peu près le temps périodique d'un satellite qui serait mû à une distance du centre de la planète égale au rayon de la ligne médiane de l'anneau. Ce corps est donc soutenu par la force centrifuge qui naît de sa rotation; et, quoique les observations n'aient pas encore été poussées à un assez haut degré d'exactitude pour laisser apercevoir une différence dans les périodes des anneaux intérieur et extérieur, il est plus que probable que la différence existe de manière à assurer séparément l'équilibre de chacun d'eux.»

Eh bien! ma sœur, *crois*-tu à ces merveilles reconnues par des observations multipliées, et faites avec la plus scrupuleuse exactitude? J'ai omis, dans ce qui précède et j'omets dans ce qui suit, les détails purement scientifiques; mais je t'engage à les lire dans l'ouvrage même d'Herschel, intitulé : *Traité d'astronomie* (1), afin de

(1) Traduction de M. Cournot.

te convaincre parfaitement de la *vérité* des *vérités* que nous enseigne la science.

« Les anneaux de Saturne doivent offrir un magnifique spectacle, vus des régions de la planète situées du côté éclairé : ils doivent paraître comme de vastes arceaux, qui partagent le ciel d'un bout à l'autre de l'horizon, en gardant une position invariable par rapport aux étoiles. Au contraire, une éclipse de soleil de *quinze ans de durée*, dans les régions situées du côté obscur et sur lesquelles l'ombre de l'anneau se projette, doit en faire (selon nos idées), un séjour inhabitable pour tout être vivant nonobstant la faible lumière donnée par les satellites. Mais peut-être que les combinaisons qui ne rappellent à notre esprit que des images d'horreur, sont en réalité celles où se manifestent le plus glorieusement les ressources d'une inépuisable bienfaisance !

« Uranus ne nous apparaît que comme un petit disque rond, d'un éclat uniforme, sans anneaux ni taches discernables. Son diamètre est d'environ 12,000 lieues, et son volume à peu près quatre-vingts fois celui de la Terre. Il a des satellites dont le nombre est au moins de deux, peut-être de cinq ou six, et dont les orbites offrent des particularités remarquables. (Voir l'ouvrage même, p. 356.)

« Si l'immense distance d'Uranus s'oppose à ce que nos connaissances sur l'état physique de

cette planète soient jamais fort avancées, la petitesse des quatre planètes zodiacales n'est pas un moindre obstacle en ce qui les concerne. Une d'entre elles, Pallas, offre un aspect nébuleux qui indiquerait l'existence d'une vaste atmosphère, dont la force expansive ne serait que faiblement réprimée par l'attraction d'une si petite masse.—C'est sous le rapport de la masse qu'elles nous présentent assurément les particularités les plus remarquables. Un homme placé à la surface de l'une d'entre elles, sauterait aisément à 60 pieds de haut, et n'éprouverait pas une plus rude secousse dans sa chute, que lorsqu'il tombe de 3 pieds à la surface de la Terre. Des géants pourraient exister sur ces planètes, et ces animaux énormes que, chez nous, leur poids seul empêcherait de vivre ailleurs que dans les eaux pourraient se passer, sur cette planète, d'un élément liquide qui les soutînt. »

Ne te récrie pas, ma sœur! Lorsque tu auras lu ce qu'a écrit Laplace sur la pesanteur universelle, tu reconnaîtras que ces suppositions n'ont rien que de fondé en raison, et que l'homme peut dire en effet ce que *pèse* un corps transporté sur l'une ou sur l'autre des planètes.

Je voulais te parler des comètes, mais ce sujet m'entraînerait à faire un cahier trop volumineux. Je terminerai donc en te disant ce que j'ai éprouvé la première fois que la lunette astronomique m'a fait pénétrer dans les profon-

deurs de l'espace; je te le dirai, autant du moins que les mots peuvent exprimer les sensations si rapides et si vives de l'âme et de l'intelligence.

C'était à l'Observatoire, par une belle soirée, par une de ces soirées où la pureté de l'azur foncé du ciel permet aux étoiles, dont il est tout semé, de briller du plus vif éclat. Jamais encore je n'avais *miré* un de ces astres errants que le vulgaire prend aussi pour des étoiles. Ce fut Saturne que je vis le premier; Saturne avec son anneau. La lunette n'avait pas un pouvoir assez amplifiant pour me faire voir tout ce qu'Herschel décrit si bien; mais, à l'aspect de cette planète entourée de son anneau, à l'aspect d'un point brillant comme un diamant qui apparaissait à gauche dans le champ de la lunette, point qui n'était pas si gros qu'une tête d'épingle et qui étincelait, il se passa en moi quelque chose d'étrange; c'était comme un sentiment vague de l'étendue sans limites, du silence sans fin de toute la nature dans cette région du ciel où je pénétrais par la pensée plus encore que par la vue; c'était une admiration sans bornes de la puissance de l'*Auteur de tout;* c'était enfin un retour sur moi-même, et un autre sentiment vague de mon infinie petitesse... Je devinais plutôt que je ne voyais le mouvement de rotation de la planète sur elle-même; je devinais, mais je ne voyais pas, la clarté répandue par ce point brillant, l'un des satellites, sur la partie de la planète opposée

au Soleil qui l'éclairait, et sur la partie de l'anneau plongée dans le cône d'ombre portée par Saturne.... Puis mon œil plongeait dans cette partie obscure du firmament, et je *sentais* l'immensité!...

Ma sœur, il est inconcevable et bien malheureux que tant d'êtres passent sur la Terre, sans se douter des merveilles que présentent les cieux !

VINGT-QUATRIÈME CAHIER.

LES COMÈTES.

« L'ASPECT extraordinaire des comètes, leurs mouvements rapides et en apparence irréguliers, les dimensions imposantes qu'elles acquièrent parfois, ce qu'il y a d'étrange et d'inattendu dans leurs apparitions et leurs disparitions en ont fait, dans tous les temps, un objet d'étonnement, mêlé de frayeurs superstitieuses pour les ignorants, et une énigme pour ceux qui étaient

plus familiarisés avec les merveilles de la création et les opérations des causes naturelles. Aujourd'hui même, que l'on a cessé de regarder leurs mouvements comme irréguliers ou comme gouvernés par d'autres lois que celles qui régissent les planètes dans leurs orbites, leur nature intime, le rôle qu'elles jouent dans notre système, sont aussi inconnus que jamais. On n'a pas donné jusqu'ici une raison satisfaisante, ni même plausible, de ces immenses appendices qu'elles traînent après elles, et qui sont connus sous le nom de *queues* (quoique improprement, puisqu'ils précèdent souvent les comètes dans leurs mouvements), non plus que de bien d'autres singularités qu'elles présentent. »

C'est ainsi, ma sœur, que débute Herschel dans son chapitre sur les comètes (1). Tu vois que les savants ne donnent comme *vérité* que ce qui est *prouvé* avec la dernière certitude.

« Une foule d'entre elles échappent à l'observation (et l'on admet qu'il en existe plusieurs *milliers*), par la raison que leurs orbites traversent la partie du ciel située sur l'horizon pendant le jour. Des comètes, ainsi placées, ne peuvent devenir visibles que par le rare événement d'une éclipse totale de soleil. Cette coïncidence singulière a eu lieu, au rapport de Sénèque, lors d'une éclipse totale arrivée 60 ans avant Jésus-Christ,

(1) Traité d'astronomie, traduction de M. Cournot.

et qui permit de voir une large comète très-près du Soleil. On cite d'autres comètes comme ayant été assez brillantes pour être aperçues en plein jour, même à midi et dans tout l'éclat du Soleil. —Telle fut celle qui parut peu avant l'assassinat de César, et que l'on supposa, *après coup*, avoir annoncé la mort de cet homme célèbre.

« Les comètes consistent, pour la plupart, en une masse de lumière, large, éclatante, mais mal terminée, qu'on nomme la tête, laquelle offre ordinairement un centre ou *noyau* beaucoup plus brillant, semblable à une étoile ou à une planète. A partir de la tête, et *dans une direction opposée à celle du Soleil* par rapport à la comète, divergent deux traînées de lumière, d'autant plus larges et plus diffuses qu'elles s'éloignent davantage de la tête. — Ce magnifique appendice atteint quelquefois une immense longueur apparente. Aristote parle de la queue de la comète de l'an 371 avant notre ère, qui occupait un tiers d'hémisphère ou 60 degrés. »

« Toutefois, la queue n'est pas un appendice inséparable des comètes. Parmi les plus brillants de ces astres, plusieurs avaient des queues de peu de longueur et d'éclat, et d'autres, en assez grand nombre, en étaient entièrement dépourvues. — D'autre part, les exemples ne manquent pas de comètes qui avaient plusieurs queues ou traînées lumineuses. Celle de 1744 n'en avait pas moins de six qui se déployaient, comme un im-

mense éventail, sur une longueur de près de 30 degrés. Les queues des comètes sont souvent courbées, la courbure étant dirigée en général vers la région que quitte la comète, comme si la queue se mouvait tant soit peu, ou éprouvait de la résistance dans sa course.

«Les étoiles de moindre grandeur restent distinctement visibles, quoique recouvertes par la portion en apparence la plus dense de la comète, bien que ces mêmes étoiles soient complétement effacées par une brume légère, qui ne s'étend qu'à quelques mètres au-dessus de la surface de la Terre. Comme on observe d'ailleurs que même de larges comètes à noyau n'offrent aucune apparence de phases, quoiqu'on ne puisse douter que leur éclat ne provienne de la réflexion de la lumière solaire, il s'ensuit que même ces comètes ne sauraient être que de grands amas de vapeurs subtiles, susceptibles d'être entièrement pénétrés par les rayons solaires, et de les réfléchir dans tous les points de leur intérieur et de leur surface.

«On doit, selon toute probabilité, attribuer le développement extraordinaire des atmosphères des comètes à la faible coercition que l'attraction d'une masse centrale si petite oppose à l'élasticité de leurs particules gazeuses. Si la Terre, en conservant le même volume, était réduite à une masse mille fois plus petite, la coercition qu'elle exerce sur son atmosphère diminuerait dans la

même proportion, et celle-ci pourrait occuper mille fois son volume actuel, ou même un espace beaucoup plus grand encore, à cause de la diminution de la gravité à mesure qu'on s'éloigne du centre attirant.

« Que la portion lumineuse d'une comète tienne de la nature d'un nuage ou d'un brouillard suspendu dans une atmosphère transparente, c'est ce dont on ne peut douter d'après le fait observé souvent, que la portion de la queue, qui vient rejoindre la tête et l'entourer, en est séparée par un intervalle moins éclairé, comme si elle était soutenue et préservée du contact par une couche transparente, à la manière des lits de nuages que nous voyons flotter les uns sur les autres, en laissant entre eux un intervalle considérable occupé par un air transparent. Ce fait, et beaucoup d'autres signalés dans l'histoire des comètes, semblent indiquer que la structure de ces astres est celle d'une enveloppe creuse, de forme parabolique, et qui renferme, près du sommet, la tête et le noyau. »

« Parlons maintenant des mouvements des comètes. *En apparence,* ils sont très-irréguliers. Quelquefois ces astres ne sont visibles que peu de jours, et d'autres fois on les aperçoit pendant plusieurs mois; quelques-uns se meuvent avec une lenteur extrême, d'autres, avec une vitesse extraordinaire; il arrive fréquemment que la même comète offre l'exemple des deux cas

dans diverses parties de sa course. — Le mouvement des unes est direct, celui des autres, rétrograde; d'autres ont une course tortueuse et tout à fait irrégulière; elles ne sont pas confinées, comme les planètes, dans certaines régions du ciel; elles le parcourent indifféremment dans tous les sens. Quelquefois elles apparaissent d'abord comme de faibles nébuleuses douées d'un mouvement très-lent; leur queue est petite ou même nulle; par degrés leur mouvement s'accélère, elles s'élargissent en projetant derrière elles leur appendice, qui, dans ce cas, va toujours en croissant de grandeur et d'éclat, jusqu'à ce qu'elles approchent du Soleil et se perdent dans ses rayons. Quelque temps après, elles reparaissent de l'autre côté, en s'éloignant du Soleil avec une vitesse d'abord rapide, mais qui diminue graduellement. Ce n'est qu'après avoir dépassé le Soleil qu'elles brillent de toute leur splendeur, et que leurs appendices ont atteint tout leur développement; en sorte que l'action des rayons solaires doit être regardée comme la cause de cette émanation extraordinaire. A mesure qu'elles s'éloignent davantage du Soleil, leur mouvement se ralentit; les queues se dissipent ou sont absorbées par les têtes, qui elles-mêmes diminuent continuellement d'éclat, et finissent par disparaître pour ne plus revenir, du moins dans le plus grand nombre de cas. »

Mais, diras-tu peut-être, ma chère Laure, il y

en a pourtant qui reviennent, et dont on peut même annoncer le retour? Oui, sans doute; seulement leur nombre est très-limité si on le compare à ces quelques milliers de comètes qui apparaissent fréquemment dans le ciel depuis que le perfectionnement des instruments d'optique permet de découvrir jusqu'à celles qu'on a surnommées, en raison de leur petitesse, comètes télescopiques. Voici ce que nous apprend Herschel de la découverte faite par Newton au sujet des comètes; tu vas reconnaître encore ici comment la théorie, d'accord avec l'observation, apporte la preuve irrécusable des vérités enseignées par l'astronomie. Lis avec attention :

« Sans la théorie de la gravitation, ces mouvements en apparence bizarres et anormaux, seraient restés pour toujours une énigme. Mais Newton ayant démontré qu'une section conique quelconque peut être décrite par un corps soumis à cette force, aperçut de suite la possibilité d'appliquer cette proposition générale au cas des orbites cométaires; et la grande comète de 1680, une des plus remarquables à cause de l'immense longueur de sa queue et de la grande proximité du Soleil à laquelle elle était parvenue, lui fournit une excellente occasion d'éprouver sa théorie. Il reconnut que cette comète avait décrit autour du Soleil, comme foyer, un orbe elliptique si excentrique qu'on ne pouvait la distinguer d'une parabole (courbe qui est la

limite des ellipses, dont le grand axe croît indéfiniment), et que, sur cette orbite, les aires décrites étaient, comme dans les orbites planétaires, proportionnelles au temps. La représentation, par le moyen d'une telle orbite, des mouvements apparents de la comète tout le long de sa course observée, se trouva aussi complète que celle des mouvements des planètes au moyen d'ellipse presque circulaires. Dès lors on commença à croire que les mouvements des comètes sont réglés par les mêmes lois générales qui régissent ceux des planètes; toute la différence consistant dans l'allongement excessif des ellipses cométaires et dans l'absence de toutes limimites quant aux inclinaisons de leurs plans sur l'écliptique; leurs mouvements n'étant pas, d'ailleurs, plutôt dirigés de l'ouest à l'est que de l'est à l'ouest, ainsi que cela s'observe pour les planètes dans leurs mouvements apparents. »

Tu dois maintenant, ma sœur, concevoir la *possibilité* de la *prédiction* du retour des comètes. En veux-tu un exemple frappant? Ecoute.

« La plus remarquable d'entre les comètes, est celle de Halley, ainsi nommée du célèbre Edmond Halley, qui, après en avoir calculé les éléments lors de son passage au périhélie en 1682 (époque où elle parut dans un grand éclat avec une queue de 30 degrés de longueur), fut amené à en conclure l'identité avec les comètes de 1531 et de 1607 dont il avait assigné aussi

les éléments. Comme les intervalles entre ces apparitions consécutives étaient de 75 à 76 ans, Halley fut encouragé à en *prédire* la réapparition vers l'année 1759. Une prédiction si remarquable ne pouvait manquer d'attirer l'attention de tous les astronomes; et lorsque l'époque fixée approcha, il devint extrêmement intéressant de savoir si les attractions des grosses planètes n'avaient pas pu influer sensiblement sur les mouvements de la comète dans son orbite. Clairault entreprit ce calcul pénible, et il trouva que le retour au périhélie serait retardé de 100 jours par l'action de Saturne, de 518 au moins par celle de Jupiter; en sorte qu'on devait fixer, à un mois près, vers le milieu d'avril 1759, l'époque du passage attendu. Il arriva en effet le 12 mars de la même année. Le prochain retour de cette comète au périhélie avait été calculé par MM. Damoiseau et Pontécoulant, qui l'avaient fixé, le premier au 4, le second au 7 novembre 1835. Un calcul plus exact des perturbations détermina ce dernier géomètre à reporter au 13 novembre l'époque du passage au périhélie: l'observation a donné pour cette époque le 16 du même mois. La comète de Halley, dans sa récente apparition, a été aperçue la première fois à Rome, le 5 août 1835; elle était encore observée à Vienne le 27 janvier 1836. »

Je pense, ma sœur, que depuis la découverte, faite par Newton, de la loi qui régit la marche

des comètes, tu n'éprouves plus la moindre crainte de voir notre globe rencontrer, dans sa marche, quelqu'un de ces astres errants, et que leur diaphanéité achève de te rassurer sur les dangers d'un choc au passage, en supposant que la perturbation occasionnée à la comète par l'attraction terrestre fût assez puissante pour qu'elle se rapprochât de nous d'une manière *incommode*; mais si enfin cette infortune nous échéait en partage, il nous faudrait dire adieu à toutes les joies de notre petit monde, car voici ce qui adviendrait, ce qui est déjà advenu, selon toute apparence, du choc d'une comète:

« L'axe de rotation changé, les mers abandonnant leur ancienne position pour se précipiter vers le nouvel équateur, une grande partie des hommes et des animaux noyée dans ce déluge universel ou détruite par la violence de la secousse imprimée au globe terrestre; des espèces anéanties ; tous les monuments de l'industrie humaine renversés ; tels sont les désastres que le choc d'une comète a dû produire si *sa masse a été comparable à celle de la Terre*. Or, on voit alors pourquoi l'Océan a recouvert de hautes montagnes sur lesquelles il a laissé des marques incontestables de son séjour ; on voit comment les animaux et les plantes du midi ont pu exister dans les climats du nord, où l'on retrouve leurs dépouilles et leurs empreintes; enfin

on explique la nouveauté du monde moral dont les monuments *certains* ne remontent pas au delà de 5 mille ans. L'espèce humaine, réduite à un petit nombre d'individus et à l'état le plus déplorable, uniquement occupée, pendant très longtemps, du soin de se conserver, a dû perdre entièrement le souvenir des sciences, des arts, et quand les progrès de la civilisation en ont fait sentir de nouveau les besoins, il a fallu tout recommencer, comme si les hommes avaient été placés tout nouvellement sur la Terre. » (Laplace.)

Cette hypothèse d'un célèbre astronome sur les effets du choc probable d'une comète, expliquant, tu le vois, ma sœur, la cause de ce que les géologues appellent *les différentes époques du globe,* n'a pas *encore* pourtant tous les caractères voulus, puisqu'on n'a pas trouvé *encore*, parmi un si grand nombre de fossiles d'animaux, dont les espèces sont aujourd'hui perdues, un seul fossile humain. Laplace ajoute ce qui suit : « Quoi qu'il en soit de cette cause assignée par quelques philosophes à ce phénomène, je le répète, on doit être pleinement rassuré sur un si terrible événement pendant le court intervalle de la vie; d'autant plus qu'il paraît que les masses des comètes sont d'une petitesse extrême. »

Ainsi donc, dormons en paix; nous n'avons pas à craindre, selon l'expression *pittoresque* de M. Arago, d'être lancés dans l'espace par l'ef-

fet du choc d'une comète, et de décrire chacun, pour notre propre compte, de *majestueuses paraboles.*

Voici de quelle manière l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences termine l'analyse des travaux d'Herschel, auquel l'astronomie doit tant de découvertes admirables et des instruments d'optique si parfaits:

« Je blesserais les sentiments élevés dont Herschel fit profession toute sa vie, si je ne mentionnais ici deux collaborateurs infatigables que l'illustre astronome trouva dans sa propre famille. L'un, M. Alexandre Herschel, doué d'un talent remarquable pour la mécanique, toujours aux ordres de son frère, le mit à même de réaliser sans retard les idées qu'il avait conçues; l'autre, mademoiselle Caroline Herschel, mérite une mention plus particulière, plus détaillée.

« Mademoiselle Caroline-Lucrèce Herschel (1) passa en Angleterre aussitôt que son frère fut devenu l'astronome particulier du roi. Elle y reçut le titre d'*astronome adjoint*, avec de très-modestes appointements. De ce moment, elle se dévoua sans réserve au service de William; heureuse de contribuer nuit et jour à sa réputation scientifique, mademoiselle Caroline partagea toutes les *gardes de nuit* (watches) de son frère. Constamment l'œil à la pendule et le crayon à

(1) La famille Herschel appartient au Hanovre.

la main, elle fit *tous les calculs* sans exception; elle copia trois ou quatre fois *toutes les observations* dans des registres particuliers, les coordonna, les classa, les analysa. Si le monde scientifique vit avec étonnement, pendant tant d'années, les publications d'Herschel se succéder avec une rapidité sans exemple, on en fut particulièrement redevable à mademoiselle Caroline. L'astronomie a été directement enrichie de plusieurs comètes par cette excellente et respectable dame.»

C'est en ces termes que M. Arago fait valoir les droits de mademoiselle Herschel à une juste célébrité; la postérité fera sans doute valoir quelque jour ceux que le *jeune secrétaire* de M. Arago, sa nièce, mademoiselle Mathieu, ne peut manquer d'acquérir à la reconnaissance du monde savant, et ainsi la France n'aura plus rien à envier à l'Allemagne et à l'Angleterre.

De si beaux exemples doivent exciter en toi, ma sœur, une généreuse émulation. Il n'est certainement pas toujours *possible* à la femme de suivre l'homme dans ses plus nobles travaux; mais il sera toujours permis à la femme de développer, par l'étude, l'intelligence qu'elle, aussi, elle a reçue du ciel, et de s'ouvrir ainsi un refuge dans lequel elle puisse trouver, avec l'oubli des agitations du monde, des joies pures et un allégement réel aux souffrances physiques comme aux souffrances du cœur!

VINGT-CINQUIÈME CAHIER.

LA PESANTEUR UNIVERSELLE.

Nous voici arrivés, ma chère Laure, à l'une des découvertes les plus belles dont l'homme puisse se glorifier, à celle de ce *seul principe* d'où résultent *tous* les phénomènes que présentent les corps célestes. Nous avons vu Tycho-Brahé, Descartes, Kepler, Galilée, Newton *pressentir* et *découvrir* enfin la gravitation ; écoutons l'immortel Laplace ; il va nous offrir le ma-

gnifique résumé des observations et des théories astronomiques dues aux travaux de tant de siècles. Je n'ai extrait de son admirable ouvrage, intitulé: *Exposition du système du monde*, que ce que tu es en état de comprendre; cependant je t'engage à lire avec attention; de chaque ligne, pour ainsi dire, va jaillir à tes yeux la lumière.

« Si l'homme s'était borné à recueillir des faits, les sciences ne seraient qu'une nomenclature stérile, et jamais il n'eût connu les grandes lois de la nature. C'est en comparant les faits entre eux, en saisissant leurs rapports et en remontant ainsi à des phénomènes de plus en plus étendus, qu'il est enfin parvenu à découvrir ces lois, toujours empreintes dans leurs effets les plus variés. Alors la nature, en se dévoilant, lui a montré un petit nombre de causes donnant naissance à la foule des phénomènes qu'il avait observés: il a pu déterminer ceux qu'elles doivent faire éclore; et, lorsqu'il s'est assuré que rien ne trouble l'enchaînement de ces causes et de leurs effets, il a porté ses regards dans l'avenir, et la série des événements, que le temps doit développer, s'est offerte à sa vue.

« — Quelles sont les forces principales qui retiennent les planètes, les satellites et les comètes dans leurs orbes respectifs? quelles forces particulières troublent leurs mouvements elliptiques? quelle cause fait rétrograder les équinoxes et mouvoir le grand axe de rotation de la Terre et

de la Lune? Par quelles forces, enfin, les eaux de la mer sont-elles soulevées deux fois par jour? La supposition d'un seul principe, dont toutes ces lois dépendent, est digne de la simplicité et de la majesté de la nature. La généralité des lois que présentent les mouvements des corps célestes semble en indiquer l'existence; déjà même on entrevoit ce principe dans le rapport de ces phénomènes avec la position respective des corps du système solaire. »

Comme c'est clair! Tu comprends, ma sœur, n'est-ce pas?

« Les corps des systèmes solaires séparés par d'immenses distances, et soumis à l'action d'une force principale dont il est facile de calculer les effets, ne sont troublés dans leurs mouvements respectifs que par des forces assez petites pour qu'on ait pu embrasser, dans des formules générales, tous les changements que la suite des temps a produits et doit amener dans ces systèmes. Il ne s'agit point ici de causes vagues, impossibles à soumettre à l'analyse, et que l'imagination modifie à son gré pour expliquer ces phénomènes. La loi de la pesanteur universelle a le précieux avantage de pouvoir être réduite au calcul et d'offrir, dans la comparaison de ses résultats aux observations, le plus sûr moyen d'en constater l'existence. On verra que cette grande loi de la nature représente tous les phénomènes célestes jusque dans leurs plus petits

détails; qu'il n'y a pas une seule de leurs inégalités qui n'en découle avec une précision admirable, et qu'elle a souvent devancé les observations en nous dévoilant la cause de plusieurs mouvements singuliers, entrevus par les astronomes, mais qui, vu leur complication et leur extrême lenteur, n'auraient pu être déterminés par l'observation seule, qu'après un grand nombre de siècles.

« Le mouvement de la Terre, qui, par la simplicité avec laquelle il explique les phénomènes célestes, avait entraîné les suffrages des astronomes, a reçu, du principe de la pesanteur, une confirmation nouvelle qui l'a porté au plus haut degré d'évidence. *On peut accroître la probabilité d'une théorie soit en diminuant le nombre des hypothèses sur lesquelles on l'appuie, soit en augmentant le nombre des phénomènes qu'elle explique.* Le principe de la pesanteur a présenté ces deux avantages à la théorie du mouvement de la Terre. *Comme il en est une suite nécessaire, il n'ajoute aucune supposition nouvelle à cette théorie.*

« Copernic admettait dans la Terre trois mouvements distincts. — Le principe de la pesanteur les fait dépendre tous d'un seul mouvement imprimé à la Terre suivant une direction qui ne passe point par son centre de gravité. En vertu de ce mouvement, elle tourne autour du Soleil et sur elle-même; elle a pris une figure

aplatie à ses pôles, et l'action du Soleil et de la Lune sur cette figure, fait mouvoir lentement l'axe de la Terre autour des pôles de l'écliptique (*la nutation.*) La découverte de ce principe a donc réduit au plus petit nombre possible les suppositions sur lesquelles Copernic fondait sa théorie. Elle a d'ailleurs l'avantage de lier cette théorie à tous les phénomènes astronomiques. Sans elle l'ellipsité des orbes planétaires, les lois que les planètes et les comètes suivent dans leurs mouvements autour du Soleil, leurs inégalités séculaires et périodiques, les nombreuses inégalités de la Lune et des satellites de Jupiter, la précession des équinoxes, la nutation de l'axe terrestre, les mouvements de l'axe lunaire, enfin le flux et le reflux de la mer, ne seraient que des résultats de l'observation *isolés* entre eux.

« C'est une chose vraiment digne d'admiration que la manière dont tous ces phénomènes, qui semblent, au premier coup-d'œil, fort disparates, découlent d'une même loi qui les enchaîne au mouvement de la Terre, en sorte que ce mouvement étant une fois admis, on est conduit, par une suite de raisonnements géométriques, à ces phénomènes. Chacun d'eux fournit donc une preuve de son existence; et si l'on considère qu'il n'y en a pas un seul maintenant qui ne soit ramené à la loi de la pesanteur; que cette loi détermine avec la plus grande exactitude la position et les mouvements des corps célestes, à

chaque instant et dans tout leur cours, il n'est pas à craindre qu'elle soit démentie par quelque phénomène jusqu'ici non observé ; enfin que la planète Uranus et ses satellites, et les quatre petites planètes nouvellement découvertes, lui obéissent et la confirment, il est impossible de se refuser à l'ensemble de ces preuves, et de ne ne pas convenir que rien n'est mieux démontré, dans la philosophie naturelle, que le mouvement de la Terre et le mouvement de la gravitation universelle en raison des masses et réciproque au carré des distances. »

Qu'en dis-tu, ma chère Laure? Vois-tu cette belle vérité sortie tout entière de ces phénomènes si divers et que nous avons passés en revue séparément ?

« Les géomètres sont partis des cinq propositions suivantes : 1° que la gravitation a lieu entre les plus petites molécules des corps; 2° qu'elle est proportionnelle aux masses; 3° qu'elle est réciproque au carré des distances; 4° qu'elle se transmet dans un instant d'un corps à l'autre; 5° enfin qu'elle agit également sur les corps en repos et sur ceux qui, déjà mus dans sa direction, semblent se soustraire en partie à son activité. »

Il me semble, ma sœur, que *tu sais* tout cela. Rappelle-toi seulement la loi qui régit la chute des graves. Pour t'aider je vais faire encore les citations suivantes :

« La première de ces propositions est un résultat nécessaire de l'égalité qui existe entre l'action et la réaction ; chaque molécule de la Terre devant attirer la Terre entière comme elle en est attirée... »

« La proportionnalité de la force attractive aux masses est démontrée sur la Terre par les expériences du pendule, dont les oscillations sont exactement de la même durée, *quelles que soient les substances* que l'on fait osciller... »

Ah! quel dommage que tu ne saches pas au moins un peu d'algèbre et de physique! je te donnerais alors d'autres extraits de cet admirable ouvrage! mais il faudrait les accompagner pour toi d'une foule d'explications qui fatigueraient ton attention en la détournant du sujet principal.

Voyons à présent comment l'homme a pu *peser* les corps célestes. L'illustre professeur, M. Arago, va nous l'apprendre:

« La gravitation est dépendante, non de la forme ou de la nature des corps, comme quand l'aimant attire le fer, mais de la masse des corps et de leurs molécules. Cette force s'affaiblit, non dans le rapport simple des distances, mais en raison inverse du carré des distances. Mars tombe précisément sur le Soleil comme y tomberait Jupiter, si Jupiter était à la distance où est Mars. La force qui retient la Lune dans son orbite autour de la Terre, est la même que celle

qui retient Mars, Jupiter et toutes les planètes dans leurs orbites. La Terre est donc le centre d'attraction de la Lune. La chute d'un corps solide transporté de la Terre à la Lune, s'affaiblirait conformément à cette loi du carré des distances trouvée par Kepler.

« On ne peut présumer que des planètes *de grandeurs différentes*, et dont la durée de révolution est différente aussi, renferment la *même quantité* de matière *pesante*. Concevons donc que l'action d'une planète sur une autre dépend surtout du plus ou moins de matière de la planète attirante et de la planète attirée.

« L'action des corps célestes, les uns sur les autres, n'est pas d'une nature différente de celle de la Terre sur la chute des corps terrestres.

« De ce principe, que la force de la gravitation est proportionnelle aux masses, on doit conclure la possibilité de déterminer la pesanteur de toutes les planètes. La chose est facile, du moins pour les planètes qui ont des satellites. C'est un peu plus difficile pour celles qui n'en ont pas; néanmoins on obtient les mêmes résultats par d'autres procédés.

« Par exemple, je sais qu'un corps, à la surface de la Terre, tombe de 15 pieds dans la première seconde, etc. Je peux savoir, par la loi du carré des distances, de combien il tomberait en une seconde s'il était transporté à la distance où est Jupiter; je saurai aussi de combien l'un des sa-

tellites de Jupiter tombe sur Jupiter et de combien Jupiter tombe sur le Soleil. Sachant donc de combien ce satellite tombe sur Jupiter, je saurai que Jupiter a une force de gravitation mille soixante-sept fois moindre que la force du Soleil; et, par conséquent, qu'il faudrait mille soixante-sept fois cette pesanteur pour faire équilibre à celle du Soleil, de même il faudrait 3,500 Saturnes, 337,000 Terres pour faire équilibre à la pesanteur du Soleil.

« On peut déduire ces résultats du mouvement de la Terre.

« Quand les planètes n'ont pas de satellites, on peut connaître avec précision leur pesanteur par un procédé différent. Sans expliquer ici la méthode détaillée, on se bornera à en faire connaître l'esprit.

« Non-seulement le Soleil attire les planètes, mais les planètes l'attirent les unes et les autres en raison de leur masse. Or, il y a dans leurs relations une position dans laquelle cet effet est plus marqué. Ainsi, Mars est attiré par le Soleil dans tous les points de son orbite, mais il est aussi attiré par la Terre lorsqu'il se trouve plus près d'elle; alors il ne suit pas la même route que si la Terre, qui le trouble un peu, n'existait pas. Comme on sait ce qu'il fait de chemin dans une seconde, on peut comparer cette quantité à celle dont il se déplace quand il est plus voisin de la Terre. La différence sera la valeur de la pertur-

bation que la Terre lui occasionne. En comparant cette valeur avec celle de la perturbation qu'une autre planète éprouve dans sa conjonction avec la Terre, on saura laquelle des deux perturbations est la plus considérable; ce sera celle qu'éprouvera la planète qui a *moins de matière*. On pourra donc, en tenant compte du carré de la distance, savoir ce que pèserait un corps dont le poids égalerait la valeur de la perturbation, et, en comparant ensuite le poids de ce corps avec la planète, on aura le poids de cette planète. On trouvera ainsi que Mercure n'a qu'un deux millionième du poids du Soleil, Vénus un trois cent cinquante-six millième, Mars un deux millions cinq cent millièmes, Uranus un vingt-millième, etc. Il y a ici un parfait accord entre le calcul et la discussion de la théorie des perturbations.

« Il est à remarquer que les planètes les plus voisines du Soleil, ont plus de densité. La densité est le rapport de la masse au volume. Ainsi Mercure est la plus dense, Vénus après, la Terre ensuite, etc. Il n'y a d'exception à cette règle que pour Uranus, qui paraît avoir plus de densité que ne le comporte son très-grand éloignement. Mais il est probable que cela tient à une erreur dans la nature du diamètre de cette planète qui, presque 77 fois plus grosse que la Terre, ne se voit que comme une étoile de sixième grandeur. On ne peut pas, en ce mo-

ment, rectifier cette erreur parce qu'Uranus est trop bas. Ce ne sera que dans 40 ans qu'il se présentera dans une position favorable pour cette rectification ; il met 80 ans à faire sa révolution. »

Ma sœur, qu'est-il notre globe si chétif dans le vaste univers? Mais si invisible, si chétif qu'il puisse être, il y tient sa place, et il concourt à cette admirable harmonie, chef-d'œuvre du Créateur!

VINGT-SIXIEME CAHIER.

L'ATMOSPHÈRE. — LE VENT.

Tu m'as adressé, ma sœur, au sujet de mes derniers cahiers, une foule de questions auxquelles je ferai une seule réponse : Étudie! je n'ai pas eu la prétention ni l'intention de te dispenser de tout travail; j'ai voulu seulement t'aider, t'encourager dans tes études, en te montrant qu'elles ont pour objet des *vérités prouvées* avec la dernière évidence, et non les brillantes

20

illusions de l'imagination; j'ai voulu te montrer encore que le but est digne de tes efforts; le reste te regarde. Un savoir réel ne s'acquiert pas en se jouant; les facultés de l'intelligence, comme celles de l'âme, ont besoin de culture, et c'est seulement dans les luttes contre les difficultés qu'elles parviennent à leur entier développement. Tu as étudié déjà, mais mal, parce que toujours tu as cherché à éviter le travail de tête, sans lequel rien ne fructifie. Fais maintenant le contraire. Reprends tes livres élémentaires et cherches-y le complément de ces cahiers qui ne sont qu'une esquisse et non l'*histoire* des découvertes de l'astronomie. Je te promets d'avance une vive joie, lorsque, par tes travaux, tu seras arrivée à la solution d'une difficulté, car tu auras fait alors toi-même une véritable découverte, et tu la devras à de courageux efforts.

Quittons maintenant l'espace sans limites où se meuvent les corps célestes, et jetons un coup-d'œil sur ce que nous enseigne la météorologie; mais, avant tout, *faisons connaissance* avec l'enveloppe gazeuse qui enveloppe notre globe, et à laquelle sont dus tous les phénomènes qui appartiennent à la science désignée par ce nom de météorologie.

L'énorme couche d'air, composée de plusieurs couches de différentes densités, qui enveloppe et presse notre globe dans tous ses points, a été appelée *atmosphère*, mot composé de deux mots

grecs : *atmos*, vapeur, et de *sphaira*, sphère. On se sert indifféremment dans le monde des mots d'atmosphère et d'air atmosphérique ; cette dernière épithète doit suffire pour te montrer que l'air c'est la *partie* et que l'atmosphère c'est le *tout*.

L'air, de même que l'eau, de même que tous les corps fluides, liquides et solides, se compose de molécules qui exercent une pression les unes sur les autres, en même temps qu'elles s'attirent l'une l'autre. Cette pression de molécules aériformes s'ajoute à leur propre pesanteur, et contribue, en se combinant avec l'action attractive du globe terrestre, à retenir la masse d'air atmosphérique, ou l'atmosphère, autour de la Terre. L'air *pèse* donc sur toute la surface du globe ; mais tu comprends bien, ma sœur, que sa densité n'est point partout la même. Les couches voisines du sol doivent nécessairement être plus denses que les couches supérieures ; la densité diminue donc à mesure qu'on s'élève ; c'est *la valeur* de cette diminution dans la densité que donne le baromètre. Ce fut Pascal qui eut le premier l'idée de faire l'application de l'instrument, inventé par Toricelli, à l'estimation des hauteurs, d'après la pression graduée des couches atmosphériques indiquée par le baromètre. Pascal, aidé d'un autre physicien, fit des observations comparatives du niveau du mercure dans le tube du baromètre, appelé *colonne barométrique*, à

des points connus de la surface du sol ou de la mer, en même temps qu'au sommet de diverses montagnes dont l'élévation était géométriquement déterminée; tous deux reconnurent que, dans des circonstances semblables, le mercure prenait constamment le même niveau à des hauteurs égales, et que, lorsqu'il éprouvait des variations, elles se trouvaient parfaitement en rapport avec les différences d'élévation. Depuis cette brillante découverte, le baromètre est l'instrument dont on se sert pour mesurer la hauteur des montagnes. Mais fais attention à une chose, ma sœur; c'est que le baromètre est sujet a des variations accidentelles et irrégulières dont on n'a pas encore pu reconnaître la cause, et dont il faut tenir compte dans l'estimation donnée par l'élévation ou par l'abaissement de la colonne barométrique. L'homme, si imparfait lui-même, ne saurait créer rien de parfait, rien qui soit, plus que lui, à l'abri de toutes les erreurs!

La théorie et l'observation, dont on ne peut nier le résultat, lorsque toutes deux concordent, ont *prouvé* que la colonne atmosphérique, qui pèse à la surface de la Terre et sur tout ce dont est couverte cette surface, exerce une pression égale à celle d'une colonne d'eau de trente-deux pieds de hauteur; cette pression équivaut à un poids de trente-deux mille livres. Nous succomberions sous le faix, si la pression s'exerçait sur un seul point; mais elle s'exerce dans toutes les

directions, à l'intérieur comme à l'extérieur de tous nos organes; il en résulte une répartition si admirablement combinée, que nous n'avons pas plus le sentiment de cette énorme pression atmosphérique que nous n'avons le sentiment de la rotation si rapide de la Terre et de son mouvement de translation dans l'espace autour du Soleil. Mais s'il était possible que cette répartition de pression vînt à cesser, si tout à coup une portion de notre corps n'était plus soumise à cet admirable équilibre qui répartit la pression également partout, cette portion serait à l'instant paralysée, écrasée sous le poids de la colonne atmosphérique à laquelle manquerait ce point de résistance. On le *prouve*, dans les cabinets de physique, par une expérience. On établit sur le plateau d'une pompe pneumatique une cloche ouverte dans sa partie supérieure; on ferme l'ouverture de la cloche au moyen d'une peau épaisse, ou d'un morceau de verre très-épais, et l'on fait jouer la pompe pour enlever l'air contenu dans la cloche. La colonne atmosphérique, n'ayant plus, pour point d'appui, que la peau qui se trouve de moins en moins soutenue à mesure que la pompe enlève l'air de la cloche, exerce une pression telle que la peau épaisse se déchire, que le verre épais se brise. Si l'on faisait l'essai en plaçant la main sur l'ouverture de la cloche, dès le premier coup de piston on sentirait la pression atmosphérique sur le

dessus de la main, et quelques coups de piston suffiraient pour que la main fût écrasée et mise en *pièces*.

Je n'ai pas besoin, ma Laurette, de chercher à te *prouver* l'extrême mobilité des molécules de l'air; il en résulte un facile déplacement des couches qui composent l'atmosphère, et, de ce déplacement, résultent à leur tour les phénomènes météoriques.

Tu dois bien comprendre que si la densité des diverses couches atmosphériques restait toujours la même, l'atmosphère demeurerait en repos. Mais il n'en est pas, et il n'en peut être ainsi. Qu'une cause quelconque dérange l'équilibre, il y a déplacement, mouvement; c'est ce mouvement, c'est ce déplacement qui ont reçu le nom de *vent*.

Que, dans une partie de l'atmosphère, l'air devienne plus dense en se condensant par le froid, cet air s'écoule vers les lieux où l'air est devenu plus *rare* en se dilatant par la chaleur, et voilà un courant établi, voilà du vent.

Les vents se propagent par impulsion et par aspiration. Tu peux prendre l'idée de cette distinction en examinant ce qui se passe lorsque tu souffles le feu au moyen d'un soufflet. Le soufflet aspire d'abord l'air, puis le pousse en avant; ici, tu le vois, l'aspiration précède l'impulsion.

Je n'entrerai pas dans le détail des différentes

sources de ces courants et contre-courants qui agitent plus ou moins l'atmosphère; nous possédons maintenant un excellent ouvrage sur la météorologie (1); c'est à toi de le consulter: je me bornerai à te donner quelques idées générales sur les principaux points de cette science, qui n'est pas complète encore.

Comme tu l'as déjà remarqué au sujet du phénomène des marées (2), l'attraction combinée du Soleil et de la Lune occasionne, en effet, dans l'*océan aérien*, appelé atmosphère, un flux et reflux; seulement, ainsi que je te l'ai dit, ces mouvements, par suite du peu de densité de l'air comparativement à la densité de l'eau, sont moins importants et presque inappréciables; mais l'attraction solaire et l'attraction lunaire doivent, comme tu l'as pressenti, être placés au nombre des forces diverses qui agissent sur l'atmosphère et qui contribuent à en troubler l'équilibre. Cependant, c'est dans les effets du calorique (de la chaleur, si tu l'aimes mieux quoique ces mots ne soient pas synonymes) qu'il faut voir la principale cause de la production du vent; l'*élévation* de la température, à mesure que le Soleil monte à l'horizon, doit donc être considérée comme une des causes principales de

(1) Cours complet de météorologie, de Kaemtz, traduit et annoté par M. Ch. Martins.

(2) Huitième cahier.

l'*élévation* du vent que tu as remarquée, bien plutôt que l'attraction solaire.

L'explication détaillée des vents alisés que j'emprunte à l'ouvrage de M. Ch. Martins va te donner une idée positive de l'action du calorique dans la formation du vent :

« Peu de phénomènes ont excité autant d'étonnement parmi les premiers navigateurs qui, dans le XVe siècle, se hasardèrent dans l'océan Atlantique, que les vents d'est, qui soufflent régulièrement entre les tropiques. Les compagnons de Colomb furent frappés de terreur lorsqu'ils se virent poussés par des vents d'est continus, qui semblaient leur présager qu'ils ne pourraient jamais retourner dans leur patrie. Pendant plusieurs siècles on s'efforça vainement de les expliquer ; enfin Halley et Hudley proposèrent la théorie suivante :

« Les régions qui bordent l'équateur sont les plus chaudes de la Terre, puisque le Soleil s'éloigne peu de leur zénith ; mais, à partir de ces zones, la température va en diminuant à mesure qu'on s'avance vers les pôles. Il se forme donc un *courant supérieur* de l'équateur vers les deux pôles, un autre *inférieur* des pôles à l'équateur. L'air des pôles s'échauffe dans le voisinage de l'équateur, monte et retourne de nouveau vers les extrémités de l'axe terrestre. Nous devons donc trouver un vent du nord dans l'hémisphère boréal, un vent du sud dans l'hémi-

sphère austral; mais ces deux directions se combinent avec le mouvement diurne de la Terre d'occident en orient, il en résulte un vent de N. E. pour notre hémisphère, un vent de S. E. pour l'autre. En effet, le diamètre des cercles parallèles allant toujours en diminuant à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, et tous les points situés dans un même méridien tournant en vingt-quatre heures autour de l'axe terrestre, il en résulte qu'ils se meuvent avec une vitesse d'autant plus grande qu'il sont plus rapprochés de la ligne équinoxale. Mais les masses d'air qui, du nord, affluent à l'équateur, ont une vitesse acquise moindre que celle des régions vers lesquelles elles se dirigent; elles tournent donc moins vite que les points situés vers l'équateur, et opposent aux parties qui s'élèvent au-dessus de la surface du globe, une résistance analogue à celle d'un vent de N. E. bien caractérisé. Par la même raison le vent alisé de l'hémisphère austral souffle du S. E. »

M. Arago résume, comme toujours, en peu de mots l'explication du phénomène en disant : « Le vent alisé qui souffle entre les tropiques est produit par la rotation même de la Terre d'occident en orient. »

Si tu lis, comme je t'y engages, ma sœur, l'ouvrage de MM. Kaemtz et Martins tu verras que la configuration de la Terre, ses montagnes, ses bassins, ses golfes, ses baies, influent encore sur

la direction et sur la production des courants atmosphériques déterminés *toujours et avant tout* par l'effet du calorique que rayonne la Terre ; tu verras encore *comment* les vents possèdent une partie des propriétés physiques des contrées d'où ils viennent. « Ainsi, les vents d'ouest qui soufflent de la mer, sont beaucoup plus humides que ceux de l'est qui traversent les continents. L'opposition entre la température élevée de la Méditerranée et celle des Alpes couvertes de neige , donne lieu à des courants aériens d'une extrême rapidité. Si leur effet s'ajoute à celui d'un vent de nord général, il en résulte une *bise* d'une violence si grande qu'on ne peut s'en faire d'idée. En Istrie et en Dalmatie ce vent est connu sous le nom de *bora*, et sa force est telle qu'il renverse quelquefois les chevaux et les charrettes. Il en est de même dans la vallée du Rhône, où règne souvent un vent du sud très-froid, qui se nomme le *mistral*, et qui n'est pas moins redoutable que le vent du nord, connu en Espagne sous le nom de *gallepo*. »

Tu me permettras , ma petite sœur , de te renvoyer à l'ouvrage même pour les vents si dangereux du désert; mon rôle se borne, pour le moment, à te familiariser avec les causes des phénomènes atmosphériques.

VINGT-SEPTIÈME CAHIER.

ROSÉE. — BROUILLARDS ET NUAGES.

Nous avons *entrevu* la composition physique de l'air; nous allons *entrevoir* aujourd'hui, ma sœur, sa composition chimique.

Longtemps on avait regardé l'air comme un *corps simple*, comme un *élément* composé d'une seule substance par conséquent; mais les immortels travaux de Lavoisier ont fait reconnaître que l'air est formé de 21 parties d'*oxigène*, ap-

pelé jadis *air vital*, de 79 parties d'azote, d'un millième environ de gaz acide carbonique et enfin de vapeur d'eau. Je te dirai seulement, au sujet des deux éléments constituants de l'air, l'oxigène et l'azote, qu'ils ne sont point *combinés* ainsi que l'entend le chimiste, mais que leurs molécules, continuellement *mêlées* par l'effet des courants ascendants, présentent toujours la même constitution, c'est-à-dire 21 parties d'oxigène et 79 d'azote, à toutes les hauteurs de l'atmosphère où l'homme a pu parvenir et recueillir de l'air atmosphérique qu'il a soumis ensuite à l'analyse. Nous ne sommes point, en ce moment, naturalistes ni chimistes; nous n'avons donc pas à rechercher quel est le rôle important que joue l'oxigène en particulier dans le phénomène de la vie animale et végétale, ni dans celui de la combustion; nous ne demandons compte à l'air atmosphérique que de la vapeur d'eau qui se trouve mêlée à ses molécules.

Je crois t'avoir déjà dit, ma sœur, que la rosée ne *tombe* pas du ciel; il faut aujourd'hui te *le prouver*.

La rosée n'est autre chose que la conséquence du refroidissement des corps sur lesquels elle se dépose. Si tous les corps se refroidissaient *également*, ils se couvriraient *également* de rosée, et ceci n'est pas. Comment les corps se refroidissent-ils? En rayonnant la chaleur, et il est *prouvé* que les corps organiques, tels les végétaux,

rayonnent davantage que les corps inorganiques, tels les métaux par exemple. Ainsi, une plante se couvrira d'une rosée plus abondante que la pièce d'argent que, par mégarde, tu auras laissé tomber auprès de cette plante et qui aura passé la nuit à côté sur le sable ou sur l'herbe.

Tu dois comprendre, ma sœur, que tout ce qui tend à augmenter le rayonnement des corps augmente le froid déjà produit et, par conséquent, la production de la rosée : ainsi, sous un ciel pur, la chaleur rayonnée dans l'espace pendant le jour, se perd dans ce même espace avec l'humidité enlevée aux corps terrestres sous forme de vapeur ; mais le rayonnement étant plus fort pendant la nuit que pendant le jour, l'air, chargé de cette même vapeur humide, se refroidit au contact des plantes refroidies par le rayonnement ; la vapeur contenue dans l'air se condense et se dépose en gouttelettes sur toutes les parties des plantes. Ceci n'a lieu que par un ciel serein. Le ciel est-il couvert, les nuages compensent, par leur rayonnement propre et par leur réflexion, la chaleur rayonnée par les corps terrestres, et il y a peu ou point de formation de rosée. L'interposition d'une toile, du plus simple abri entre la plante et un ciel serein, suffit pour que celle-ci ne se couvre pas de rosée, parce que cette toile, ce simple abri compense, comme les nuages, par son rayonnement propre, celui de la plante. Et ceci est si vrai, que,

sous les arbres, que, près des édifices, il n'y a que peu ou il n'y a même pas de rosée. C'est sans doute de cette observation qu'on avait conclu que la rosée *tombait du ciel.* La rosée n'est donc qu'un effet de l'abaissement de température qu'éprouvent les couches d'air en contact avec les corps refroidis par le rayonnement; cet abaissement de température condense la vapeur d'eau *invisible* que contient l'air, et les corps se couvrent de rosée.

Tu devines, je pense, ma Laurette, que si cette rosée a lieu au printemps ou à l'automne, époques auxquelles les nuits sont plus longues ou plus froides que dans les autres saisons de l'année, elle passe aisément à l'état de congélation; de liquide, la rosée devient *solide,* et l'on a des gelées blanches.

Le brouillard n'a pas une autre origine que le contact de deux couches d'air chargées d'humidité, et qui sont de températures inégales. La vapeur d'eau, *invisible* jusqu'au moment où ces deux couches d'air se rapprochent, devient *visible* par leur contact, et cette vapeur, examinée à la loupe, présente des sphérules (petites sphères) d'eau. Parmi les météorologistes, les uns veulent que ces sphérules soient vésiculaires, c'est-à-dire creuses, les autres veulent qu'elles soient pleines; c'est une question qu'il ne nous appartient même pas d'examiner, à nous profanes; mais nous pouvons, si nous voulons, ré-

péter du moins une expérience faite par de Saussure pour connaître la nature du brouillard.

« Prenez une tasse remplie d'un liquide de couleur foncée, tel que du café ou de l'encre de Chine dissoute dans l'eau, chauffez ce liquide et placez-le au soleil: si l'air est tranquille, la vapeur monte et se dissipe bientôt. Si l'on observe à la loupe cette vapeur, on voit s'élever du liquide des globules de grosseurs variées. Les plus petits traversent rapidement le champ du verre grossissant; les autres retombent à la surface du liquide. De Saussure ajoute que les petits globules qui s'élèvent diffèrent tellement de ceux qui retombent, qu'il est impossible de douter que les premiers soient creux.

« La manière dont ces corps se comportent avec la lumière n'est pas moins favorable à cette opinion; ils n'offrent pas cette scintillation qu'on remarque sur les gouttelettes pleines exposées à une vive lumière. Jamais non plus on n'observe de véritables arcs-en-ciel sur des *nuages*, quoique le spectateur, le nuage et le Soleil se trouvent dans les positions relatives les plus favorables à la production de ces phénomènes; si les nuages étaient composés de gouttelettes d'eau, il n'en serait pas ainsi. » (*Cours de météorologie.*)

Nous devons donc croire, ma Laurette, que le brouillard est composé de vésicules creuses et que les nuages ne sont pas autre chose qu'un

brouillard plus ou moins épais, puisqu'alors que les gens de la vallée sont plongés dans le brouillard, les gens placés sur les montagnes qui dominent la vallée voient rouler à leurs pieds les nuages. Cette croyance se trouve confirmée par ce que nous enseigne la science. Elle nous apprend que les nuages ne sont pas autre chose que des amas de brouillards. Toutes les fois qu'au moment de leur formation ces brouillards ne sont pas emportés par des vents violents, ils s'accumulent, ils s'élèvent, et forment alors, par leur assemblage, des masses plus ou moins considérables. Tu vas voir, ma sœur, se produire, au-dessus des couches atmosphériques inférieures, ce même phénomène dont je t'ai parlé tout à l'heure et qui donne naissance au brouillard dans les vallées. Lorsque deux vents contraires viennent à se rencontrer, s'ils sont suffisamment saturés d'humidité et qu'ils se trouvent à des températures différentes, il y aura condensation d'une portion de cette humidité dont le vent était saturé, et cette condensation produira à l'instant un nuage.

Ne trouves-tu pas bien curieux ces rapprochements établis par l'esprit humain, entre ce qu'il peut vérifier et la théorie qu'il arrive à déduire de l'observation et de la réflexion, alors que tout autre moyen d'investigation vient à lui manquer?

« Les vapeurs dont les nuages sont composés

ont été examinées avec soin, et le résultat de cet examen a été qu'elles s'y trouvent à l'état vésiculaire, c'est-à-dire que la vapeur, au lieu d'être continue, est séparée et contenue dans de petits globules. — Ces globules se soutiennent en l'air (c'est un fait qu'il est impossible de nier), et pourtant leur densité est plus grande que celle du milieu dans lequel ils se trouvent : cette augmentation de densité provient de la petite enveloppe dont la vapeur vésiculaire est entourée. Or, comment expliquer qu'un corps d'une densité plus grande que le milieu ambiant puisse se soutenir dans ce milieu? — M. Gay-Lussac enseigne que les courants d'air chauds, fournis sans cesse par la terre, suffisent, en s'élevant, pour servir de support aux vapeurs vésiculaires et pour les soutenir dans les hautes régions de l'atmosphère; M. Fresnel suppose que la chaleur solaire, absorbée par les nuages, en forme des espèces de montgolfières qui prennent un essor en raison directe de l'élévation de température... »

Je m'arrête ici, ma sœur, car tu n'aimes pas les hypothèses, et il ne m'est pas possible de te donner autre chose en ce qui touche la cause à laquelle les nuages doivent leur légèreté extrême; il est *visible* qu'ils sont plus légers que l'air, et *il faut* qu'il en soit ainsi, c'est tout ce que je peux te dire de plus avéré.

Les météorologistes, en attendant que cette

cause soit trouvée, se sont *amusés* à classer les nuages d'après leurs formes. Là-dessus tu vas te récrier. Est-il au monde, en effet, rien de plus *fantastique*, rien de plus *capricieux* que les formes si diverses présentées par les nuages? Ce qu'il y a de pis, ce sont les noms *barbares* donnés à ces nues *fantastiques et capricieuses* qui sont tour à tour élégantes et terribles, brillantes et menaçantes, suivant la saison, l'heure, le moment où elles revêtent les plus riches teintes du Soleil levant et couchant, ou bien les couleurs sombres de l'orage. Je me garderai bien de prononcer à ton oreille musicale les noms de *cirrus*, de *cumulus*, de *stratus*, et encore moins ceux de *cirro-cumulus*, de *cirro-stratus* et de *nimbus*, alors qu'en ce moment peut-être tu contemples, avec les yeux d'une artiste, quelque beau Soleil couchant. J'aime mieux, laissant pour un moment de côté le *positif* de la science, terminer ce cahier par une citation empruntée à Bernardin de Saint-Pierre.

« Un soir, une demi-heure environ avant le coucher du Soleil, le vent alisé du sud-est se ralentit, comme il arrive d'ordinaire vers ce temps. Les nuages qu'il voiture dans le ciel, à des distances égales comme son souffle, devinrent plus rares, et ceux de la partie ouest s'arrêtèrent et se groupèrent entre eux sous les formes d'un paysage. Ils représentaient une grande terre formée de hautes montagnes séparées par des

vallées profondes et surmontées de rochers pyramidaux. Sur leurs sommets et leurs flancs apparaissaient des brouillards détachés, semblables à ceux qui s'élèvent des terres véritables. Un long fleuve semblait circuler dans leurs vallons et tomber çà et là en cataracte ; il était traversé par un grand pont appuyé sur des arcades à demi ruinées. Des bouquets de cocotiers, au centre desquels on entrevoyait des habitations, s'élevaient sur les croupes et les profils de cette île aérienne. Tous ces objets n'étaient point revêtus de ces riches teintes de pourpre, de jaune doré, de nacarat, d'émeraude, si communes le soir dans les couchants de ces parages ; ce paysage n'était point un tableau colorié ; c'était une simple estampe où se réunissaient tous les accords de la lumière et des ombres. Il représentait une contrée éclairée, non en face, des rayons du Soleil, mais, par derrière, de leurs simples reflets. En effet, dès que l'astre du jour se fut caché derrière le paysage, quelques-uns de ses rayons décomposés éclairèrent les arcades demi-transparentes du pont, d'une couleur ponceau, se reflétèrent dans les vallons, au sommet des rochers, tandis que des torrents de lumière couvraient ses contours de l'or le plus pur, et divergeaient vers les cieux comme les rayons d'une gloire; mais la masse entière resta dans sa demi-teinte obscure, et l'on voyait autour des nuages qui s'élevaient de ses flancs les lueurs des ton-

nerres dont on entendait les roulements lointains. On aurait juré que c'était une terre véritable, située environ à une lieue et demie de nous. Peut-être était-ce une de ces réverbérations célestes de quelque île très-éloignée, dont les nuages nous répétaient la forme par leurs reflets, et les tonnerres par leurs échos. Plusieurs fois des marins expérimentés ont été trompés par de semblables aspects.

« Quoi qu'il en soit, tout cet appareil fantastique de magnificence et de terreur, ces montagnes surmontées de cocotiers, ces orages qui grondaient sur leur sommet, ce fleuve, ce pont, tout fondit et disparut à l'arrivée de la nuit, comme les illusions du monde à l'approche de la mort. L'astre des nuits, la triple Hécate, qui répète, par des harmonies plus douces, celles de l'astre du jour, en se levant sur l'horizon dissipa l'empire de la lumière, et fit régner celui des ombres. Bientôt des étoiles innombrables et d'un éclat éternel brillèrent au sein des ténèbres. Oh ! si le jour n'est lui-même qu'une image de la vie, si les heures rapides de l'aube, du matin, du midi et du soir représentent les âges si fugitifs de l'enfance, de la jeunesse, de la virilité, de la vieillesse, la mort, comme la nuit, doit nous découvrir aussi de nouveaux cieux et de nouveaux mondes ! »

VINGT-HUITIÈME CAHIER.

TEMPÉRATURE. — TOUJOURS LA MÊME.

Tu as, non pas *deviné*, ma sœur, ainsi que tu le dis, mais tu as *compris* que la pluie doit être le résultat de la *rupture* des vésicules qui forment les nuages, c'est-à-dire de la condensation de la vapeur que ces vésicules contiennent. Il faut une cause déterminante de cette condensation; il faut un *accident* qui rompe l'équilibre; et cet *accident* est presque toujours dû à l'électricité, à ce fluide qui joue un si grand rôle,

non-seulement dans les phénomènes atmosphériques, mais dans tous les phénomènes de la nature. Tu as de même *compris* et non pas *deviné* que si la gelée blanche est de la *rosée gelée*, la neige doit être de la *pluie gelée.* Quant à la grêle, tu n'en parles pas, et tu fais bien; sa formation est un sujet de controverses entre les savants, et rien de positif n'a encore été découvert sur ce point.

Nous ne nous arrêterons pas à *mesurer* la quantité de pluie qui tombe dans telle ou telle contrée, ni les époques où les pluies arrivent pour les différents pays du globe; nous ne nous arrêterons pas davantage à regarder au microscope les figures diverses que présente la neige, figures qui partent toutes, de même que toutes les cristallisations possibles, d'une forme particulière ou primitive, base fondamentale des cristaux surajoutés; je t'ai indiqué un livre bien fait sur la météorologie; lis, étudie, et réfléchis. Mais le sujet auquel nous nous arrêterons, c'est la température sur la surface du globe; sujet important, tu le vois, et que M. Arago a traité, comme il traite tout, avec la plus admirable clarté. Je me bornerai à extraire les points principaux de cette notice scientifique; mon père possède la collection complète de l'Annuaire du bureau des Longitudes, cherche celui de l'année 1834.

« Nous avons admis que la Terre a été jadis

incandescente; que son enveloppe solide s'est formée par voie de refroidissement. On a prouvé que la chaleur est encore énorme, même à des profondeurs médiocres. Il résulte de cette dernière circonstance qu'elle doit continuer à se refroidir. Le doute ne saurait porter que sur la quantité. Eh bien! nous puiserons dans le mouvement de translation de la Lune la preuve qu'en deux mille ans la température moyenne de la Terre, mais cette température considérée dans la masse tout entière et non pas seulement à la surface, n'a pu varier d'un centième de degré.

« Supposons qu'à chacun des rayons d'une roue ordinaire, telle que celle d'un rémouleur, soient adaptées solidement de grosses masses. Admettons de plus que ces masses puissent glisser à volonté le long des rayons, de telle manière qu'on ait la faculté de les réunir, ou près de l'axe de rotation, ou vers la circonférence extérieure de la roue, ou dans toute autre situation intermédiaire.

« Cette disposition générale de l'appareil une fois bien comprise, plaçons d'abord toutes les masses mobiles près de l'axe, et cherchons quelle force appliquée à la manivelle sera nécessaire pour imprimer à la roue une vitesse de rotation d'*un tour par seconde*.

« Après cette première expérience, faisons glisser, sur chaque rayon, la masse qui lui est adaptée, depuis le centre jusqu'à la circonfé-

rence. La roue ne pèsera ni plus ni moins que dans le premier cas, et cependant, pour la faire tourner de nouveau avec la vitesse d'un tour par seconde, il faudrait une force plus grande.

« Puisque, pour faire tourner un *poids donné* avec une certaine vitesse, il faut une force d'autant plus grande que les éléments dont ce poids se compose sont plus éloignés du centre; il est évident (car c'est le même résultat en d'autres termes) que sous l'*action d'une force déterminée, le mouvement de la roue se ralentira* à mesure que les diverses parties de la masse s'éloigneront de l'axe de rotation.

« Personne n'ignore que la chaleur dilate tous les corps connus, et que le froid les resserre. Ainsi, plus il fera chaud, plus la roue dont nous parlions tout à l'heure s'étendra, c'est-à-dire, plus les molécules matérielles qui la composent s'éloigneront du centre de rotation. L'effet contraire se manifestera pendant les diminutions de température. *Sous l'action d'une même force* une roue donnée tournera donc d'*autant plus vite qu'il fera plus froid*, et *d'autant plus lentement qu'il fera plus chaud.* »

Tu ne te doutes pas, ma Laurette, n'est-il pas vrai, de la conclusion qui va sortir de ceci? Écoute!

«Tout ce que j'ai dit d'une roue plate doit évidemment être appliqué, mot pour mot, à une masse de figure quelconque.

« Concevons, par exemple, une sphère qui *tourne sur elle-même* en vertu d'une première impulsion. Si ses dimensions augmentent, la vitesse de rotation diminuera; la sphère emploiera plus de temps à faire un tour entier. Si la sphère, au contraire, se contracte, sa vitesse s'accélèrera; elle aura besoin de moins de temps pour chaque révolution.

« Or, notre sphère, qu'est-elle autre chose qu'une sphère suspendue dans l'espace et pirouettant chaque jour sur son axe en vertu d'une impulsion primitive? Ainsi donc, si la Terre grossit, elle doit, de jour en jour, tourner sur elle-même plus lentement; si elle diminue de dimension, son mouvement doit s'accélérer.

« Les substances dont la Terre est formée se dilatent par la chaleur et se resserrent par le froid. Ceux qui croient que la Terre se refroidit admettent, par cela même, que son rayon diminue, que son volume devient de plus en plus petit. Mais, nous venons de le voir, le volume ne peut pas diminuer sans que la vitesse de rotation ne s'accélère. La question de savoir si la Terre était, il y a deux mille ans, au degré de chaleur de 1834, revient donc à celle-ci: Deux cents ans avant notre ère, la Terre employait-elle, à faire un tour sur son centre, précisément le même temps qu'aujourd'hui? »

Comprends-tu, ma sœur? Quelle simplicité et quelle clarté! Avec bien du regret je borne mes

extraits à quelques passages; mais tu peux recourir à cette notice même quand tu voudras; et tu le voudras, j'en suis sûr (1).

«La Lune n'est pas immobile dans l'espace: elle marche de l'ouest à l'est. C'est de l'ouest à l'est qu'on la voit traverser successivement toutes les constellations zodiacales.

«Le *mouvement propre* de la Lune a, de tout temps, fixé l'attention des hommes; ils ont surtout désiré de mesurer sa vitesse. Mais la mesure d'une vitesse implique le choix d'une unité de temps: cette unité, nous pouvons admettre qu'elle a été le *jour sidéral.*

«Pour que le choix du jour sidéral, comme unité de temps, ne puisse donner lieu à aucune objection dans le problème concernant la vitesse de la Lune, il faut que la durée de ce jour, ou, ce qui est la même chose, il faut que la durée de la rotation de la Terre soit indépendante de la vitesse propre de notre satellite. Cette indépendance, elle est manifeste: la Terre cesserait même tout à coup de tourner sur son centre, que la Lune n'en continuerait pas moins à parcourir les constellations zodiacales, comme elle fait maintenant.

«L'école d'Alexandrie nous a laissé des observations d'où l'on peut déduire, avec une très-grande exactitude, quel était, il y a 2,000 ans, le

(1) *Annuaire* publié par le bureau des longitudes pour l'année 1834.

chemin moyen que la Lune parcourait en un jour sidéral. L'astronomie arabe nous fournit les éléments de cette même détermination pour le temps des califes. Il n'est pas un seul catalogue d'observations modernes où l'on ne trouve, pour l'époque actuelle, la valeur de la marche moyenne de la Lune pendant la durée d'un jour sidéral.

« Eh bien! l'arc parcouru en un jour sidéral par notre satellite *est exactement le même*, soit que vous le calculiez par les observations grecques, par les observations arabes ou par les observations modernes.

« — L'astronome d'Alexandrie déterminait, par des observations directes, la durée de *son jour sidéral*, ou la durée de la rotation de la Terre. Il laissait marcher la Lune tout juste pendant cette durée, et notait l'arc qu'elle avait parcouru. Telle était aussi la manière d'opérer des astronomes arabes; telle est encore la méthode suivie par les modernes. Ainsi, chacun se réglait sur le jour sidéral *de son époque*. Mais, puisque la Lune, comme nous en sommes convenus, se meut toujours de la même vitesse, le chemin qu'elle parcourt doit dépendre uniquement de la durée de temps pendant lequel on suit sa marche. Si le jour sidéral, à l'époque d'Hipparque, avait été plus long qu'il ne l'est aujourd'hui, l'astronome grec aurait observé la Lune pendant *plus de temps* que ne le font les observateurs moder-

nes ; le déplacement diurne de cet astre se serait trouvé plus grand qu'il ne l'est maintenant ; sa vitesse nous semblerait affaiblie. Or, l'arc parcouru en un jour a précisément la même étendue à toutes les époques ; donc, depuis les plus anciennes observations, le mot *jour sidéral* a perpétuellement désigné un égal espace de temps ; donc encore (puisque jour sidéral et durée de la rotation de la Terre veulent dire la même chose), depuis 2,000 ans, la vitesse de rotation de notre globe s'est conservée constante ; donc, aussi, son volume n'a pas changé ; donc, enfin, la température, qui ne pouvait éprouver de variation sans que le volume ne s'en ressentît, est restée stationnaire. »

Voilà, ma sœur, ce que tu pourras répondre à M. Derbigny qui s'obstine à prétendre que, chaque année, le globe se refroidit. La Terre ne se refroidit pas plus que le Soleil et l'espace, auxquels M. Derbigny s'en prend aussi de ce que chaque année son sang circule plus lentement que jadis. Voici ce que M. Arago dit à ce sujet :

« En voyant, même sous l'équateur, certaines montagnes couvertes de neiges éternelles ; en voyant le décroissement rapide de température des couches atmosphériques, tel qu'il est observé par les aéronautes pendant le mouvement ascensionnel de leurs ballons, les météorologistes avaient imaginé que dans les régions dont l'extrême rareté de l'air tiendra toujours les hommes

éloignés, qu'en dehors de l'atmosphère surtout, il doit régner des froids prodigieux. Ce n'était pas seulement par centaines, c'était par milliers de degrés qu'ils les eussent volontiers mesurés ! Mais tout cela était follement exagéré. Les centaines, les milliers de degrés sont devenus, après l'examen sévère de Fourier, 50 à 60 degrés seulement. Cinquante à soixante degrés *au-dessous de zéro*, telle est la température des espaces que la Terre sillonne tous les ans ; tel est le degré qu'un thermomètre marquerait dans toute la région occupée par notre système, *si le Soleil et les planètes qui l'accompagnent venaient à être anéantis.*

« La chaleur des espaces célestes, quelle qu'en soit l'intensité, est probablement due au rayonnement de tous les corps de l'univers dont la lumière arrive jusqu'à nous. Plusieurs de ces corps ont disparu ; d'autres présentent seulement des indices non équivoques d'affaiblissement ; d'autres, enfin, augmentent d'éclat ; mais ce sont là de rares exceptions. Or, comme le nombre total des étoiles et des nébuleuses visibles avec des télescopes surpasse certainement plusieurs millions, tout fait supposer que, de ce côté, du moins, les habitants du globe terrestre n'ont à redouter aucune altération de climat.

« Le Soleil, dans sa marche annuelle *apparente*, se trouve pendant six mois dans les constellations australes ; pendant six autres mois, il

est au nord de l'équateur.—Le problème de savoir si les jours d'hiver, comparés aux jours d'été, sont maintenant plus ou moins inégaux qu'ils ne l'étaient il y a 2,000 ans, revient donc à rechercher si, dans ses excursions au nord et au midi de l'équateur, le Soleil s'est toujours arrêté aux mêmes constellations, ou mieux, aux mêmes étoiles. Mathématiquement parlant, il n'en est pas ainsi. Ajoutons, toutefois, que le changement annuel est excessivement petit; qu'en somme, au bout de deux mille ans, il s'est à peine élevé à *un quart de degré.*

« Ainsi, la chaleur centrale ne saurait occasionner une variation sensible dans les climats, puisque son effet *total,* à la surface, ne surpasse pas maintenant un huitième de degré. La température de l'espace, quelque doute que l'on puisse conserver encore sur la valeur que Fourier lui assigne, doit demeurer à très-peu près constante, si elle a pour cause, comme tout porte à le croire, le rayonnement stellaire. Les changements de forme et de position de l'orbite terrestre sont ou mathématiquement sans action, ou bien leur influence est si minime qu'elle échapperait aux instruments les plus délicats. Pour expliquer les changements de climats, il ne nous reste donc plus que des circonstances locales ou quelque altération dans le pouvoir calorifique et lumineux du Soleil. Eh bien ! de ces deux causes, l'une pourra être encore éli-

minée. Tous les changements devront, en effet, être attribués aux travaux agricoles, au déboisement des plaines, au desséchement des marais, etc., etc., si nous parvenons à prouver que le climat n'est devenu ni plus chaud, ni plus froid, dans un lieu dont l'aspect physique n'a pas sensiblement changé depuis une longue suite de siècles. »

Tu as déjà quelque idée, ma sœur, des changements que peuvent apporter les travaux des hommes aux phénomènes naturels, par le fait que je t'ai cité au sujet du déplacement dans l'heure de la marée au Croisic (1). Je t'engage donc à lire toute cette notice, au double titre d'*apprentie* astronome et de naturaliste *amateur ;* tu y trouveras des choses du plus haut intérêt sur l'aspect physique, sur les productions de différentes contrées dans les temps anciens, et sur les changements qu'y ont apportés *les travaux des hommes.*

(1) Septième cahier.

VINGT-NEUVIÈME CAHIER.

NUES, ORAGEUSES.—NUAGES LUMINEUX.

Je te l'ai déjà dit, ma sœur, ces cahiers sont destinés non pas à t'*infuser* le savoir, mais à te montrer *comment* l'homme est arrivé à la connaissance de la vérité. Or, il est certains *comment* qui exigent au moins quelques études préliminaires; la cause principale des orages, du tonnerre, des éclairs est de ce nombre. Ces études, tu peux les faire dans le *Cours complet*

de météorologie de MM. Kaemtz et Martins ; je t'y renvoie donc ; mais, malheureusement, tu n'aimes pas encore la science pour elle-même : il faut dès lors te la montrer d'abord attrayante, intéressante par les phénomènes qu'elle observe ; et cet attrait, cet intérêt, qui sait mieux que M. Arago les faire naître ? qui possède mieux que lui le talent d'apprendre à ses lecteurs à penser, à raisonner et à tirer une conséquence parfaitement logique des faits recueillis par l'observation ? Je vais donc extraire pour toi quelques passages de sa belle notice *sur le tonnerre* (1) que tu as *parcourue*, je le sais, dans le seul but d'y chercher des faits curieux, et que j'espère te voir *lire* quelque jour tout entière.

« Lorsque, par un temps calme, on voit s'élever assez rapidement de quelque point de l'horizon des nuages très-denses, semblables à des masses de coton amoncelées, c'est-à-dire terminées par un grand nombre de contours curvilignes brusquement et nettement arrêtés comme le sont les sommités des montagnes domiques couvertes de neige ; lorsque ces nuages se gonflent en quelque sorte ; lorsqu'ils diminuent de nombre et augmentent de grandeur ; lorsque, malgré tous ces changements de forme, ils restent invariablement attachés à leur première base ; lorsque ces contours, d'abord si nombreux et si dis-

(1) *Annuaire* du bureau des longitudes pour 1838.

tincts, se fondent peu à peu les uns dans les autres de manière à ne laisser bientôt à l'ensemble que l'aspect d'un nuage unique, on peut, suivant Beccaria, annoncer avec certitude qu'un orage approche.

« A ces premiers phénomènes succède, toujours à l'horizon, l'apparition d'un gros nuage très-sombre, par l'intermédiaire duquel les premiers paraissent toucher à terre. Sa teinte obscure se communique, de proche en proche, aux nuages élevés, et il est digne de remarque que ce soit alors que leur surface générale, celle du moins qu'on aperçoit de la plaine, devienne de plus en plus unie. Des parties les plus hautes de cette masse unie et compacte, partent, sous la forme de longs *rameaux*, les nuages qui, sans se détacher, vont graduellement couvrir tout le ciel.

« Au moment où les *rameaux* commencent à se former, l'atmosphère est ordinairement parsemée de petits nuages blancs bien distincts, bien circonscrits, que le célèbre physicien de Turin appelle *ascitizi*, c'est-à-dire nuages additionnels ou subordonnés. Ces nuages paraissent être sous l'influence attractive de la grande masse. Aussi vont-ils, l'un après l'autre, se réunir à elle. Des ascitizi avaient déjà été remarqués par Virgile, qui les comparait à de la laine. Les taches blanches qui, çà et là, interrompent la teinte uniformément observée d'un gros nuage

orageux, étaient originairement des ascitizi.

« Après qu'en s'étendant le grand nuage obscur et orageux a dépassé le zénith ; lorsqu'il couvre la majeure partie du ciel, l'observateur voit au-dessous beaucoup de petits ascitizi, sans qu'il puisse trop décider ni d'où ils viennent, ni comment ils se sont formés. Ces ascitizi paraissent déchirés, morcelés ; on dirait des lambeaux de nuages. Ils poussent çà et là de longs bras. Leur marche est vive, irrégulière, incertaine, mais toujours, cependant, horizontale. Lorsque, dans leurs mouvements opposés, deux de ces nuages viennent à se rapprocher, ils paraissent vraiment étendre l'un vers l'autre leurs bras irréguliers. Après s'être presque touchés, ils se repoussent évidemment, et les bras dont nous venons de faire mention se reploient par un mouvement contraire à celui qui s'était d'abord manifesté. »

Vois-tu, ma sœur, cet orage se former, et cette description si belle et si vraie ne rappelle-t-elle rien à ton souvenir ? n'as-tu pas assisté toi-même à ce spectacle ? Maintenant tu seras en état de le suivre avec plus de netteté dans tous ses détails, si surtout tu lis avec attention la notice sur le tonnerre. Passons maintenant à un autre genre d'orage que tu ne seras probablement jamais à même d'observer.

« Durant la terrible éruption de 1779, il sortait du cratère du Vésuve, pêle-mêle avec la lave

incandescente, de fréquentes bouffées d'une *fumée aussi noire qu'on puisse l'imaginer.* Cette fumée, dit sir William Hamilton, paraissait sillonnée par des *éclairs serpentant à l'instant même* où elle se dégageait du cratère.

« Les éclairs vus par Hamilton en 1779 ne furent accompagnés d'aucune détonation sensible. En 1794, au contraire, des décharges comparables à celles des plus violents coups de tonnerre les suivaient constamment. L'orage formé par la seule influence du volcan était, sous tous les rapports, pareil aux orages ordinaires. Les foudres qu'il lançait produisaient les accidents accoutumés. On eut particulièrement l'occasion de se convaincre de cette parfaite ressemblance, en examinant l'habitation foudroyée du marquis de *Berio*, à *San Jorio*. Les cendres, dont se composaient en grande partie les nuages volcaniques, avaient la finesse du tabac d'Espagne. Ce nuage fut transporté par le vent jusqu'au-dessus de la ville de Tarente, dont la distance au Vésuve est d'environ 100 lieues. Là aussi, la la foudre qui s'en détacha produisit de grands dégâts dans une maison. »

M. Arago fait encore ici d'autres citations, et il termine ainsi :

« Peut-être trouvera-t-on que j'ai apporté beaucoup trop d'importance aux éclairs et aux tonnerres dont les nuages volcaniques sont le siége. Je sais qu'on pourra dire que d'immenses

colonnes de vapeur d'eau s'élèvent souvent des cratères ; que cette vapeur forme la partie principale des nuages volcaniques ; que les cendres, que les poussières noires et impalpables vont seulement se mêler à elles pour en altérer la blancheur et la demi-transparence, etc.

« Ma réponse est bien simple : il serait vrai que les nuages excessivement noirs qui, après s'être élevés de la bouche des volcans jusqu'à des hauteurs prodigieuses, qui, après s'être étalés dans tous les sens autour de la colonne ascendante, donnent à l'ensemble des déjections gazeuses et pulvérulentes cette forme de pin si bien décrite par Pline le Jeune et par les observateurs modernes ; il serait vrai, disons-nous, que ces nuages se composent en grande partie de vapeurs d'eau, qu'il n'en resterait pas moins à examiner comment la vapeur, quand elle s'élève d'un cratère à peu près pure, n'est, si je suis bien informé, jamais ou presque jamais orageuse, et comment les cendres, comment la poussière volcanique lui communiquent toujours cette propriété. Rien, au surplus, n'établit la vérité de l'hypothèse dont je viens de faire mention, si on l'envisage d'un point de vue général ; rien ne prouve, par exemple, à l'égard de l'épais nuage qui, en 1794, s'étendait du Vésuve jusqu'à Tarente, qu'en arrivant près de cette ville il ne se composait pas exclusivement de poussière presque impalpable. D'après la rela-

tion du capitaine Tillard, de noires colonnes de fumée s'*élevaient de l'Océan*, près des Açores, avant que le petit îlot *Sabrina* eût commencé à surgir. Dans ce cas, la vapeur engendrée au foyer volcanique sous-marin ne devait-elle pas se condenser, en grande partie, pendant sa marche ascensionnelle vers la surface, comme elle se condense au contact de l'eau froide dans l'admirable machine de Watt? Je ne pousserai pas plus loin ces considérations; mais, tout à l'heure, je citerai un fait qui leur donnera une grande force, puisqu'il prouvera qu'après s'être détachées des nuages, et lorsqu'elles arrivent à terre dans un état de sécheresse extrême, les poussières volcaniques sont quelquefois si fortement imprégnées de la matière du tonnerre, qu'elle donne lieu à de remarquables phénomènes de phosphorescence. »

Ta curiosité n'est-elle pas excitée, ma sœur? Ne sens-tu pas combien il y a de choses intéressantes à apprendre? Lis la notice tout entière. Je vais en citer encore plusieurs passages qui te porteront peut-être à observer par toi-même, puis à réfléchir sur ce que tu auras observé.

« Il m'est arrivé très-fréquemment, dit le physicien de Turin (Beccaria), dans des nuits entièrement obscures, particulièrement en hiver, de voir des nuages épars s'agglomérer et former ensuite, dans leur ensemble, un nuage général, uniforme, à surface unie et d'une den-

sité en apparence peu considérable. De tels nuages *répandent dans tous les sens une lueur rougeâtre*, sans limites définies, mais assez intense pour qu'elle m'ait permis de lire des livres imprimés en caractères ordinaires. Les clartés nocturnes provenant des nuages, je les ai surtout observées dans les nuits d'hiver, entre deux averses de neige... Quant à moi, je les attribue à la matière de la foudre (feu électrique), car c'est à elle qu'il appartient universellement de former les nuages généraux sans ondulations apparentes. Cette matière, circulant dans les vapeurs en quantité un tant soit peu plus considérable qu'elles ne peuvent en transmettre, doit se manifester à l'état lumineux, ainsi que le constatent tant d'expériences de cabinet. S'il existe des traits de lumière très-déliés et extrêmement fréquents dans tous les points où la vapeur présente de légères variations de densité, il ne saurait évidemment manquer d'en résulter une lueur générale et sans limites définies. »

« Certaines matières étrangères qui se mêlent quelquefois à notre atmosphère lui communi quent la faculté phosphorescente à un très-haut degré. Un mémoire de M. Verdeil, médecin de Lausanne, nous apprend, par exemple, que le célèbre *brouillard sec* de 1783 répandait, la nuit, une lumière qui permettait de voir les objets à une certaine distance, et qui s'étendait

également sur tout l'horizon. Cette lumière ressemblait assez à celle de la Lune, lorsqu'étant dans son plein, cet astre se cache derrière un nuage épais ou lorsque le ciel est couvert. »

M. Arago termine ainsi ce paragraphe sur les nuages lumineux :

« Lorsqu'on a réfléchi sur l'énorme affaiblissement que les nuages font éprouver, dans certains jours d'hiver, *à la lumière éblouissante* du Soleil, on a tout lieu d'être surpris qu'après le coucher de cet astre, qu'à la nuit close, le ciel étant resté également couvert, il fasse assez clair, en plein champ, pour que chacun puisse se diriger et ne pas aller se heurter contre une multitude d'obstacles. Il ne paraît guère possible d'admettre que la lumière, ou, si l'on veut, la lueur diffuse, dont nous tirons tant d'avantages la nuit par un ciel couvert, provienne des étoiles. Mais l'origine stellaire une fois exclue, nous n'avons plus qu'une seule ressource pour expliquer les faits : c'est de supposer que *tous* les nuages sont lumineux par eux-mêmes. Il n'y aurait entre eux de différence que du plus au moins. Au plus haut terme de l'échelle figureraient les nuages observés par *Rozier*. Plus bas, et à une assez grande distance, ceux de *Nicholson ;* plus bas encore, les nuages neigeux de *Beccaria*. Enfin, le dernier terme de l'échelle se composerait des nuages denses, épais, dont le ciel est couvert dans les nuits les plus sombres

de l'hiver, et qui font cependant qu'à minuit l'obscurité en plein air n'est jamais aussi forte que celle d'un souterrain ou d'un appartement sans fenêtre. »

Une note, non moins intéressante que le paragraphe entier, le complète; cette note, ma sœur, la voici :

« Nous ne voulions d'abord toucher qu'à un très-petit point d'un simple phénomène météorologique; mais telles sont les connexions nécessaires des différentes sciences que, sans y penser, et sans le vouloir, nous avons pénétré, je crois, quelque peu dans un des plus grands problèmes de la philosophie naturelle. J'appelle ainsi la question de savoir par quel artifice notre Soleil brille depuis tant de siècles sans rien perdre de son éclat. Les combustions ordinaires sont inconciliables avec une pareille constance. A la longue, la matière combustible et la matière comburante auraient dû, en effet, s'épuiser. Regardons la phosporescence comme une conséquence nécessaire de l'état gazeux et nuageux; supposons, de plus, que le Soleil soit entouré d'une suite continue de nuages, et la difficulté disparaîtra; car les émissions phosphorescentes n'impliquent pas nécessairement une déperdition de substance. Il suffirait peut-être d'étendre à toute une atmosphère l'état observé par Rozier dans diverses parties des nuages orageux de Béziers, pour arriver à quelque chose de res-

semblant à l'éclat du Soleil. Si mes conjectures étaient fondées, Nicholson se trouverait avoir saisi, à quelques minutes d'intervalle, les deux constitutions atmosphériques qui donnent naissance aux étoiles rouges et bleues. »

Je ne sais, ma sœur, si je me trompe, mais il me semble qu'en lisant ces fragments d'un ouvrage brillant d'érudition, de vues larges et du plus haut savoir, tu dois éprouver cette soif d'*apprendre* qui fait vaincre tous les obstacles, et secouer la paresse de l'esprit, la plus honteuse et la plus dangereuse de toutes les paresses!

TRENTIÈME CAHIER.

LA FOUDRE. — LES ÉCLAIRS. — LES ÉCLAIRS DE CHALEUR. — LE POLARISCOPE.

Tu me demandes, ma sœur, à quelle époque on a reconnu que le bruit de la foudre, que les éclairs avaient pour cause l'électricité? Je réponds : Ce fut au XVII[e] siècle qu'Otto de Guerick ayant produit une étincelle électrique et noté le bruit qui l'accompagne, les idées prirent une direction nouvelle, et, au XVIII[e] siècle, l'abbé Nollet écrivait : « Si quelqu'un entreprenait de

prouver que le tonnerre est, entre les mains de la nature, ce que l'électricité est dans les nôtres; que ces merveilles, dont nous disposons maintenant à notre gré, sont de petites imitations de ces grands effets qui nous effrayent; que le tout dépend du même mécanisme; si l'on faisait voir qu'une nuée, préparée par l'action des vents, par la chaleur, par le mélange des exhalaisons, est, vis-à-vis d'un objet terrestre, ce qu'est le corps électrisé en présence et à une certaine proximité de celui qui ne l'est pas, j'avoue que cette idée, si elle était bien soutenue, me plairait beaucoup; et, pour la soutenir, combien de raisons spécieuses ne se présentent pas à un homme qui est au fait de l'électricité! L'universalité de la matière électrique; la promptitude de son action, son inflammabilité et son activité à enflammer les autres matières, la propriété qu'elle a de frapper les corps extérieurement et intérieurement jusque dans leurs moindres parties, l'exemple singulier que nous avons de ces effets dans la bouteille de Leyde, l'idée qu'on peut légitimement s'en faire en supposant un plus grand degré de vertu électrique, etc.; tous ces points analogues, que je médite depuis quelque temps, commencent à me faire croire qu'on pourrait, en prenant l'électricité pour modèle, se former, touchant le tonnerre et les éclairs, des idées plus saines et plus vraisemblables que tout ce qu'on a imaginé jusqu'à présent. »

Franklin *démontra* ce que l'abbé Nollet avait *deviné*. Veux-tu, ma sœur, avoir quelques détails positifs sur cette démonstration? Prie mon père de te prêter l'*Histoire de l'électricité*, par Claudius.

Mais revenons à cette belle notice sur le tonnerre; elle est pleine de faits historiques des plus curieux. Tu les liras *tous*, j'en suis assuré, sans en passer aucun; mais je ne suis pas aussi certain que tu ne passeras pas outre en voyant ce titre: *Explications, remarques et rapprochements concernant les observations précédentes*. Là aussi, pourtant, il y a des *faits* curieux; juge-s-en par les extraits suivants:

« Les Etrusques, dont toute l'antiquité a célébré la science au sujet de la foudre, en distinguaient de trois sortes. La première était une foudre d'avis; la seconde produisait déjà certain dommage; la troisième se composait d'un feu destructeur qui frappait les simples individus, ravageait les royaumes et ne laissait rien de ce qu'elle rencontrait, dans l'état primitif.

« Jupiter lançait la première à sa guise; la seconde ne partait de sa main que sur l'avis d'un conseil composé de douze grands dieux; la troisième enfin exigeait impérieusement un arrêt des dieux *supérieurs*.

« On conçoit difficilement que des peuples chez lesquels régnaient de pareilles idées aient cru nécessaire de rechercher comment la foudre

s'engendrait dans les nuages, comment naissait la lumière, comment se produisait le bruit. Cependant ces questions occupent une large place dans les traités d'Aristote, dans le poème de Lucrèce, dans les écrits de Pline, dans les *Questions naturelles* de Sénèque. Ce dernier philosophe a résumé en quelques paroles les opinions plus ou moins dissemblables dans la forme, mais fort analogues quant au fond, des physiciens de l'antiquité touchant l'origine des éclairs :

« Le feu s'engendre par la percussion de l'a-
« cier sur la pierre, ou par le frottement de deux
« morceaux de bois. Il se peut donc que les nua-
« ges (emportés par les vents) s'enflamment de
« même par voie de percussion ou de frottement. »

« J'engagerai ceux qui seraient disposés à traiter avec trop de dédain le rapprochement, assurément bien forcé, qu'on vient de lire, à voir auparavant combien 2,000 ans ont encore laissé de lacune dans l'explication du phénomène que le célèbre auteur des *Questions naturelles* avait en vue. »

« Un éclair en zig-zag à angles très-aigus, un éclair à deux, à trois pointes, contrastent si fortement avec les courbes régulières que suivent dans leur marche les corps soumis à l'action de forces accélératrices, qu'on n'ose, de prime abord, s'arrêter à l'idée qu'un semblable éclair marque, dans l'atmosphère, les places

qu'*une même matière* va successivement occuper. Faites de la foudre, non un corps, mais une ondulation, et les doubles, les triples, etc., réfractions que les ondes lumineuses éprouvent dans certains cristaux deviendront des analogies frappantes dont l'esprit pourra se montrer satisfait. Il y aura seulement à se rappeler que l'atmosphère renferme une grande variété d'exhalaisons, et, en particulier, de la vapeur d'eau irrégulièrement disséminée; d'où il résulte qu'elle peut opposer à la marche de la foudre des résistances inégales dans tous les sens. »

N'admires-tu pas, ma Laurette, comme tout s'éclaircit, comme tout s'illumine dès que l'illustre professeur, après avoir exposé un sujet, en déduit les conséquences?

« Les éclairs en boule dont nous avons cité tant d'exemples et qui sont si remarquables, d'abord par la lenteur et l'incertitude de leurs mouvements, ensuite par l'étendue des dégâts qu'ils occasionnent en éclatant, me paraissent aujourd'hui l'un des phénomènes les plus inexplicables de la physique.

« Ces boules, ces globes de feu semblent des agglomérations de substances pondérables, fortement imprégnées de la matière de la foudre. Comment se forment de telles agglomérations? d'où proviennent les substances qui les composent? quelle en est la nature? pourquoi s'arrê-

tent-elles quelquefois pendant un temps assez long pour se précipiter ensuite avec une grande rapidité, etc.? Devant toutes ces questions la science reste muette.

« La foudre, en traversant l'atmosphère, détermine çà et là une combinaison de ses deux éléments gazeux (qui sont, tu t'en souviens, ma sœur, l'oxigène et l'azote), elle les transforme en acide nitrique; serait-il donc impossible que la même action opérât quelquefois instantanément une sorte de demi-réunion des matières de toute nature qui peuvent exister dans un certain volume d'air? Si cette conjecture, que je ne présente, bien entendu, qu'à ce titre, paraissait inadmissible, je rappellerais que M. Fusinieri déclare avoir constamment trouvé du fer métallique, du fer à divers degrés d'oxidation et du soufre dans les dépôts pulvérulents, dans les fissures à travers lesquelles la foudre s'est ouvert un passage. »

A ce propos, ma sœur, et puisque *nous* en sommes *réduits* aux hypothèses, je te citerai celle de M. Izarn au sujet de l'origine des aérolithes (1). Si tu étais *quelque peu* physicienne et *quelque peu* chimiste, je ferais précéder ce passage des considérations pleines d'intérêt dues à la plume de ce savant contemporain des Chaptal, des Vauquelin, des Fourcroy;

(1) Lithologie atmosphérique par M. Izarn.

mais tu n'es rien de tout cela, et, en général, tu préfères de beaucoup les *faits* aux raisonnements.

« L'origine des masses pierreuses tombées de l'atmosphère ne peut, d'après tout ce que nous venons de voir, se trouver ni à la surface, ni à l'intérieur du globe, ni dans les régions célestes au delà de l'atmosphère; ce n'est donc que dans ce laboratoire qu'elles peuvent avoir été formées, et c'est absolument là qu'il faut les chercher; cela paraît incontestable. Dans ce cas, il faut admettre de deux choses l'une : ou bien ces masses ne sont qu'une *concrétion* de molécules très-divisées de soufre de fer, de nickel, de silice, de magnésie, volatilisées et dissoutes dans l'atmosphère, abandonnées par leur dissolution à toute leur tendance réciproque; ou bien ces substances n'y existent que dans leurs éléments, dont quelque circonstance particulière a déterminé la combinaison.

« En effet, étant donné des substances gazeuses *massées sphériquement* dans les hautes régions de l'air, il doit arriver naturellement que l'agitation de l'atmosphère en différents sens emporte quelques-unes de ces masses du milieu qui les *isolait* dans un milieu susceptible de se combiner avec elles. Si la combinaison commence, le dégagement lumineux est expliqué. A mesure qu'elle s'opère, les pesanteurs spécifiques changent et le déplacement commence;

il doit se faire par le côté le moins résistant, par celui où le milieu est le plus raréfié, et par conséquent plutôt vers le midi que vers le nord; aussi voit-on en général les globes lumineux parcourir la même direction du nord au sud ou du nord-est au sud-ouest. Le mouvement une fois imprimé, la masse traverse d'autres milieux qui peuvent fournir de nouveaux principes, lesquels, ajoutant encore à la pesanteur, déterminent la courbe; et lorsqu'enfin les principes qui sont en jeu, et qui viennent de toutes parts, sont parvenus à cette proportion qui fait disparaître les *éléments* pour donner naissance au *composé*, l'opération principale est annoncée par la détonation, et le produit vient se placer parmi les solides.

« Ce produit doit avoir une forme arrondie, puisqu'il est né positivement dans un milieu qui presse en tout sens; sa surface doit être lisse et unie, puisque la division des molécules était extrême et que tous les points ont été également pressés; et l'action de l'atmosphère ne peut manquer de ternir sa couleur quand il y demeure exposé après sa chute (la partie implantée dans la terre est d'une couleur moins foncée que celle qui reste au dehors). Ce produit sera d'ailleurs plus ou moins solide dans sa chute; il aura fait entendre un sifflement plus ou moins considérable, suivant que ses principes seront arrivés aux proportions requises dans

un point plus ou moins éloigné de la terre; et si, à l'avenir, on observe mieux le phénomène, nous apprendrons que la solidité du produit est proportionnelle à l'intervalle qui sépare l'instant de la détonation de celui de son arrivée à terre. Enfin, si les principes constitutifs ne se sont pas trouvés dans cette proportion requise en deçà ou au delà de laquelle il ne peut pas y avoir de combinaison, lorsque la masse arrive à terre il ne peut y avoir de produits pierreux, et le phénomène se borne à une *pluie de feu.* »

Cette hypothèse, ma sœur, fut émise en 1803; et dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1836, M. Arago écrit au sujet de la foudre :

« M. Fusinieri vient d'étudier les effets de la foudre sous un point de vue entièrement neuf.

« Suivant ce physicien, les étincelles électriques, provenant de machines ordinaires, que nous voyons traverser l'air, contiennent du laiton en fusion et des molécules incandescentes de zinc, quand elles émanent d'un conducteur en laiton; si les étincelles partent d'une boule d'argent, elles contiennent des particules impalpables d'argent. Une sphère en or donne naissance, de la même manière, à des étincelles qui, pendant leur trajet dans l'atmosphère, renferment de l'or fondu, etc., etc.

« Dans le centre de toutes ces étincelles, il y

a des molécules seulement fondues ; mais, sur le contour extérieur, les parcelles métalliques éprouvent une combustion plus ou moins forte par leur contact avec l'oxigène de l'air. »

Plus loin, M. Arago dit : « Je n'insisterai pas davantage sur ces phénomènes ; je ne les ai même cités ici qu'afin de montrer que les étincelles de nos machines ordinaires contiennent des matières pondérables. »

L'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences termine ce paragraphe, que je t'engage, ma sœur, à lire tout entier, par ces mots : « Cette manière nouvelle d'envisager les phénomènes électriques mérite assurément d'être suivie avec l'exactitude que l'état actuel de la science comporte. Tous ceux qui seront témoins de la chute de la foudre feront donc une chose très-utile en recueillant avec soin la matière noire ou colorée, que le fluide électrique semble avoir déposée sur toutes les parties de sa route où il a dû y avoir des changements brusques de vitesse. Une analyse chimique scrupuleuse de ces dépôts peut conduire à des découvertes inattendues, et d'une haute importance. »

Cette invitation, que je transcris, s'adresse plutôt à mon oncle qu'à toi, ma Laurette, et je te prie de la lui communiquer ; mais voici un sujet d'observation que je te recommande, à toi, et qui ne te donnera que du plaisir sans te coûter d'autres peines que de regarder les éclairs

de chaleur au moyen d'un polariscope très-facile à composer, et que mon oncle, si tu le lui demandes, aura bientôt fabriqué. Nous revenons encore une fois à l'Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1838.

« Cherchons ce que peuvent être les éclairs de chaleur, c'est-à-dire les éclairs des nuits sereines.

« Dans la nuit la plus calme, à la lumière même des étoiles, on voit briller l'éclair, dit Sénèque; mais soyez sûr, ajoute-t-il, qu'*au lieu d'où part l'éclair* il se trouve des nuages que la forme sphérique de la Terre ne nous permet pas d'apercevoir. *Le feu de l'éclair, lancé vers le haut, se montre dans la partie pure et sereine du ciel*, quoique formé dans un nuage obscur et ténébreux. »

« Dans sa dissertation sur le tonnerre, couronnée par l'Académie de Bordeaux, le père Lozeran de Fesc ne regardait pas non plus les *éclairs de chaleur* comme des éclairs primordiaux. Suivant lui, aussi, ils sont la réverbération, sur des couches atmosphériques plus ou moins élevées, d'éclairs ordinaires nés au sein d'un orage dont la vue directe est empêchée par la rondeur de la Terre. »

Mais la *preuve ?* diras-tu peut-être, ma sœur, quoique je t'aie parfois entendue t'écrier à la vue des éclairs de chaleur : Bien certainement il tonne en ce moment quelque part! Cette preuve, la voici :

« En 1739, pendant les expériences sur la *vitesse du son*, Cassini et Lacaille apercevaient dans l'atmosphère la lumière provenant du canon qu'on tirait au pied du fanal de Cette, alors même que dans les stations qu'ils occupaient la ville et le canal leur étaient complétement cachés par des objets intermédiaires, tels que la montagne Saint-Bauzeli, etc. En 1803, M. de Zach faisait donner des signaux au Mont-Brocken du Harz, pour déterminer les différences de longitudes. Des observateurs placés sur la montagne de Kenlemberg, à plus de 60 lieues de distance, apercevaient la lumière des six ou sept onces de poudre qu'on brûlait chaque fois à l'air libre, quoique le Brocken, à cause de la rondeur de la Terre, ne soit pas visible du Kenlemberg. J'ajouterai enfin que, lorsqu'on tire à Paris le canon de la batterie basse des Invalides, un observateur placé dans les allées du jardin du Luxembourg voisines de la rue d'Enfer, d'où l'on ne voit ni le bâtiment de l'hôpital ni même la flèche si élevée de son dôme, aperçoit dans l'air, au moment de chaque décharge, une lueur qui s'étend jusqu'au zénith et au delà. »

Aimes-tu mieux, ma sœur, une preuve donnée par un orage même ?

«Dans la nuit du 10 au 11 juillet 1783, l'illustre historien des Alpes (de Saussure) se trouvait à l'hospice du Grimsel par un ciel calme et serein. Cependant, en regardant dans la direction de

Genève, il voyait à l'horizon quelques bandes de nuages d'où sortaient des éclairs qui ne paraissaient produire absolument aucun bruit. La même nuit, au même instant, la ville de Genève éprouvait le plus épouvantable orage dont les habitants de ce pays aient jamais été témoins.

« Le 31 juillet 1813, M. Howard voyait de Tottenham, près de Londres, de faibles éclairs de chaleur à l'horizon, vers le sud-est. Le ciel était étoilé; il n'y avait pas un seul nuage au firmament! M. Howard apprit bientôt de son frère, qui se trouvait sur la côte sud-est de l'Angleterre, que ce même 31 juillet, à l'heure des éclairs silencieux de Tottenham, on apercevait, de Hastings, un grand orage qui embrassait en France l'espace compris entre Dunkerque et Calais. Ainsi les éclairs dont on apercevait les lueurs dans l'atmosphère de Londres étaient nés au milieu des nuages situés à près de 50 lieues de distance. »

Ne *saute* pas de joie, ma petite sœur, à l'idée d'avoir *découvert, par inspiration,* l'origine des éclairs de chaleur, car voici ce que dit encore M. Arago:

« Avoir prouvé que les éclairs de chaleur sont *quelquefois* des éclairs réfléchis, n'implique pas la conséquence qu'ils ont *toujours* la même origine. Ceux qui croient qu'un ciel parfaitement serein est souvent sillonné par des éclairs directs, par des éclairs qui jaillissent spontané-

ment dans un air sans nuages, peuvent s'appuyer sur la circonstance que souvent les prétendus éclairs de chaleur se montrent à Paris, par exemple, pendant des nuits entières et vers tous les points de l'horizon, sans que le ciel vienne à se couvrir. L'existence aussi prolongée d'une sorte d'*oasis* de sérénité n'est, en effet, guère probable.

«....Il ne me semble pas impossible de décider la question par les observations d'un seul lieu, d'une seule personne, et à l'instant même où le phénomène apparaît.

« L'instrument que je réclamerai pour cela n'est pas compliqué. Il se compose d'un tuyau de trois à quatre décimètres de long, portant, à celle de ses extrémités qui doit être tournée vers les éclairs, un bouchon percé d'une ouverture circulaire de quelques millimètres de diamètre. Cette ouverture est couverte d'une plaque de cristal de roche à faces parallèles, taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre du cristal naturel. A l'autre extrémité du tuyau, à celle où s'applique l'œil, existe un prisme de carbonate de chaux, de quartz ou de tout autre cristal doué de la double réfraction. Ce prisme est achromatisé.

« Sans le prisme, si vous dirigiez le tuyau vers l'objet rayonnant ou seulement éclairé, vous ne verriez qu'un disque circulaire plus ou moins lumineux. A travers le prisme doublement ré-

fringent, vous apercevez deux de ces disques.

«Quand la lumière de l'objet qu'on observe est de la lumière blanche *directe*, les deux disques paraissent blancs. Si, au contraire, la lumière éclairante n'arrive dans le tuyau qu'*après avoir été réfléchie* sous un angle de 90°, les deux disques sont diversement colorés. Supposez l'un rouge, par exemple, l'autre sera vert. Les deux teintes changent quand on fait tourner le tuyau sur lui-même; mais elles sont toujours complémentaires l'une de l'autre; leur réunion reproduit le blanc.

« La lumière reflétée *par l'air atmosphérique* jouit, dans notre instrument, de toutes les propriétés de celle qui est réfléchie par le verre, par l'eau, etc. Dirigez, en effet, le tuyau vers un ciel serein, et vous verrez les deux disques briller des plus vives couleurs. Il n'y a qu'une zone très-étroite, voisine du Soleil, et un espace plus circonscrit encore situé à l'opposite, où la coloration soit insensible.

«A peine aurai-je maintenant besoin d'ajouter quelques mots pour expliquer comment ce simple tuyau conduira à la solution désirée :

« Il est nuit, l'air est serein, de temps en temps des *éclairs,* dits *de chaleur*, illuminent le ciel. Après avoir dirigé le tuyau vers la région où le phénomène se manifeste le plus ordinairement, on regarde attentivement à travers, comme si c'était une véritable lunette. Quand un éclair

brille, on voit aussitôt dans le tuyau deux disques brillants. Ces deux disques sont-ils blancs, ou plutôt sont-ils l'un et l'autre de la même teinte que l'éclair, concluez-en avec certitude qu'on a observé de la lumière *directe*, qu'elle n'est pas arrivée à l'œil par voie de réverbération, que l'éclair a pris *naissance dans la portion de l'atmosphère située au-dessus de l'horizon.* Les deux disques, au contraire, se montrent-ils colorés, c'est la preuve que la lumière, dont les cristaux, renfermés dans le tuyau, font une sorte d'analyse, est de la lumière *réfléchie*, qu'*elle provient d'éclairs engendrés au-dessous de l'horizon visible.* En mesurant l'intensité de la coloration des disques, on arriverait, sans trop de difficulté, à décider quelle région atmosphérique occupent ces derniers éclairs ; mais je dois ici m'interdire de trop minutieux détails. Il me suffit d'avoir montré comment, à l'aide de l'observation la plus simple, on pourra dissiper tous les doutes que la question des *éclairs de chaleur* avait soulevés. »

Eh bien ! ma sœur, tu sais maintenant l'usage qu'on peut faire de la découverte de la polarisation de la lumière, grâce à l'ingénieux instrument, le polariscope, inventé par M. Arago.

TRENTE-UNIÈME CAHIER.

LE CRÉPUSCULE. — LES ANTHÉLIES.

Je le savais bien, ma sœur, que tu me remercierais de t'avoir ouvert une source de véritable savoir et de vrai plaisir, en t'engageant à lire les notices scientifiques que M. Arago publie chaque année dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes. Jamais, dis-tu, l'idée de *toucher* à ces *petits livres-là* ne te serait venue, si je ne t'avais envoyé ces extraits qui t'ont fait com-

prendre qu'*au delà* des tables de *toutes les façons,* si *hérissées* de chiffres, il y avait *pourtant* des choses intéressantes, et qu'il est possible, *même à une ignorante comme toi,* de les comprendre *jusqu'à un certain point.* Jusqu'à un certain point, sans doute, tant que tu n'étudieras pas; jusqu'à un certain point encore, même après que tu auras étudié sérieusement, parce que tes études préliminaires et tes études actuelles n'ont jamais été et ne seront jamais celles auxquelles se livrent l'homme enfant, le jeune homme, et l'homme fait. Mais, si tu le veux bien, ce qui signifie si tu as le courage de vaincre les premières difficultés et de chercher dans quelques ouvrages d'un ordre moins élevé les notions qui te manquent, puis de relire ces admirables notices, tu arriveras à *savoir* réellement quelque chose. Afin d'aider à la bonne volonté que tu montres, je vais te donner quelques extraits d'un volume qu'à la première vue tu n'aurais pas manqué de repousser... il y a quelques jours; car à présent tu me parais être tout à fait *intrépide ;* je veux parler du cours complet de météorologie de MM. Kaemtz et Martins, que j'ai déjà plusieurs fois mentionné. Toi qui aimes beaucoup à savoir le *comment* des découvertes mises au rang des vérités reconnues, prouvées, proclamées par la science, tu trouveras dans cet ouvrage plusieurs de ces *comment.* Le chapitre où il est traité de l'électricité renferme de

quoi satisfaire ta juste curiosité au sujet de cette belle découverte. . . Mais je me souviens que je t'ai recommandé l'histoire de l'électricité par Claudius; n'importe, tu la liras avec plaisir encore dans le cours complet de météorologie. Le chapitre qui traite des phénomènes optiques de l'atmosphère développera le très-petit nombre de notions que je t'ai données sur la lumière. Nous allons emprunter à ce chapitre quelques passages qui, je l'espère, t'inspireront le désir de lire l'ouvrage entier.

« Pendant une journée sereine, on voit, à mesure que le Soleil descend à l'horizon, la portion du ciel qui est voisine de cet astre se colorer en jaune ou en rouge. Les rayons, ayant à traverser une grande partie de l'atmosphère, perdent en chemin la plupart des rayons bleus, et nous ne recevons que les rayons jaunes ou rouges. Le ciel blanchit dans le voisinage du zénith, et la clarté va en augmentant jusqu'à l'horizon occidental. Peu à peu on remarque au ciel oriental, situé à l'opposite, une teinte rouge qui atteint son maximum d'intensité au moment où le Soleil descend au-dessous de l'horizon. Cette coloration est un des effets des derniers rayons du Soleil couchant; il n'envoie dans cette région que des rayons rouges qui, après leur réflexion, traversent de nouveau l'atmosphère, et arrivent à l'œil de l'observateur entièrement dépouillés de leurs rayons bleus. Suivant l'état de l'atmo-

sphère, cette couleur varie entre le rouge de feu et le pourpre foncé ; de même, sur le ciel occidental, le crépuscule offre toutes les teintes intermédiaires entre le jaune doré et le rouge foncé; toutefois ce rouge n'est jamais aussi foncé que celui du ciel oriental. »

Tu dois te souvenir, ma sœur, que nous avons quelquefois remarqué ce double effet lorsque le soir nous revenions de la promenade.

« Quand le Soleil s'abaisse un peu au-dessous de l'horizon, on observe au ciel oriental un segment (portion de cercle) plus ou moins nettement circonscrit d'une couleur bleue foncée, et au-dessus duquel la coloration rouge, dont nous avons parlé, se montre constamment. La séparation entre ce segment bleu et rouge est le plus souvent assez tranchée; mais dans des circonstances favorables, on peut distinguer entre deux un liseré blanc ou jaune : Mairan, qui, le premier, a attiré l'attention sur ce segment, le nommait *second crépuscule* ou *anti-crépuscule*.

« Son point culminant est situé en face du Soleil, et une observation attentive prouve que son segment est dû à *l'ombre de la Terre* qui se projette sur le ciel (preuve nouvelle, ma sœur, et bien inattendue, n'est-ce pas, de la rondeur de la Terre). Cette partie n'est plus éclairée par les rayons du Soleil, mais seulement par la lumière diffuse; et comme celle-ci est bleue, elle communique cette teinte au segment tout en-

tier. Tant que la limite de l'ombre terrestre a une faible hauteur, les teintes rouges, au ciel occidental et oriental, se confondent vers le haut; lorsque l'air est bien pur et non chargé de vapeurs d'eau, le zénith est bleu : mais si, pendant le jour, le ciel avait une couleur blanchâtre, alors il est couvert en entier d'une teinte pourprée, parce que l'œil reçoit non-seulement les rayons bleus réfléchis par le zénith, mais encore les rayons rouges provenant de particules de vapeur qui sont situées plus bas. Peu à peu, l'arc anti-crépusculaire s'élève vers le zénith, le ciel y paraît bleu, la rougeur du ciel occidental devient plus foncée, et quelques étoiles isolées deviennent visibles. A mesure que le Soleil s'abaisse, le segment rouge du ciel occidental, qui s'abaisse avec lui, devient plus net, et l'on voit au-dessous un espace blanc en forme d'arc. Le Soleil s'abaissant de plus en plus, l'obscurité s'accroît, et enfin la plupart des étoiles commencent à briller. On peut considérer comme la fin du crépuscule le moment où les étoiles de sixième grandeur deviennent visibles.

« L'aurore et le crépuscule dépendent de ce que les rayons provenant du Soleil rencontrent les couches élevées de l'atmosphère, sont réfléchis par elles et dispersés dans tous les sens, lorsque le Soleil a depuis longtemps disparu au-dessous de l'horizon ; ces rayons réfléchis le sont encore de nouveau, et éclairent la partie

orientale de la voûte céleste. Il existe, on le voit, une liaison étroite entre l'abaissement du Soleil au-dessous de l'horizon, l'état de l'atmosphère et la clarté crépusculaire. »

Et tu vois aussi, ma sœur, ce que nous devons à l'atmosphère qui nous procure de si magnifiques spectacles.

« Dans l'intérieur de l'Afrique, où l'air est quelquefois si pur et si transparent que Bruce, dans le Sennaar, voyait la planète Vénus en plein jour, la nuit succède immédiatement au jour. En Dalmatie, il fait nuit une demi-heure après le coucher du Soleil. Entre les tropiques, le crépuscule est encore plus court; il dure un quart d'heure au Chili, quelques minutes seulement à Cumana. »

« Les apparences du crépuscule dépendant de l'état du ciel, il en résulte qu'elles peuvent faire prévoir, jusqu'à un certain point, le temps qu'il fera le lendemain. Quand le ciel est bleu et lorsqu'après le coucher du Soleil la région occidentale se couvre d'une légère teinte de pourpre, on peut assurer que le temps sera beau, surtout si l'horizon semble couvert d'une légère fumée. Après la pluie, les nuages colorés en rouge et bien éclairés annoncent le retour du beau temps. Un crépuscule d'un jaune blanchâtre, surtout quand il s'étend au loin sur le ciel, n'est pas signe de beau temps pour le lendemain. Dans l'opinion des habitants de la cam-

pagne, on doit s'attendre à des orages lorsque le Soleil est d'un blanc éclatant, et se couche au milieu d'une lumière blanche qui permet à peine de le distinguer; le pronostic est encore plus mauvais lorsque de légers *cirrus* (nuages *pommelés*), qui donnent au ciel un aspect blafard, paraissent plus foncés à l'horizon et permettent à peine de distinguer le Soleil : dans ce cas, la vapeur vésiculaire est très-abondante et l'on peut compter sur du vent et sur une pluie prochaine.

« Les pronostics tirés de l'aurore sont un peu différents : quand elle est très-rouge on doit s'attendre à de la pluie, tandis qu'une aurore grise annonce du beau temps. La raison de cette différence entre une aurore et un crépuscule gris, vient de ce que, le soir, cette coloration dépend surtout des *cirrus*, le matin, d'un *stratus* (nuage allongé en bande), qui cède bientôt aux rayons d'un Soleil levant tandis que les *cirrus* s'épaississent pendant la nuit. Si, au lever du Soleil, il y a assez de vapeurs condensées pour que le Soleil paraisse rouge, il est alors très-probable que, dans le cours de la journée, le courant ascendant déterminera la formation d'une épaisse couche de nuages.

« Lorsqu'un nuage intercepte la lumière d'une partie de l'atmosphère, il projette une ombre qui obscurcit une partie du ciel. Dans les beaux jours de l'été, si quelques *cumulus* (gros nuages

montagneux) flottent dans le ciel, on peut suivre jusqu'à une grande distance l'ombre qu'ils projettent. Le phénomène inverse est bien plus commun. En effet, quand le ciel est couvert en partie de nuages, et surtout de nuages épais et noirs, interrompus par des éclaircies, les rayons du Soleil qui passent par ces éclaircies rendent *visible* l'air, la vapeur vésiculaire, la poussière et les autres corps qui nagent dans l'atmosphère et qui apparaissent en rayons plus ou moins lumineux. Si le Soleil est un peu élevé au-dessus de l'horizon, ces rayons partent du Soleil; s'il est au contraire à son couchant, ils s'élèvent dans l'atmosphère sous forme d'arcs, de grands cercles. Ces rayons sont parallèles entre eux, et leur courbure apparente, de même que leur divergence dans le voisinage du zénith, ne sont qu'une conséquence des effets de perspective; plus ils sont éloignés de nous, moins leur écartement semble considérable, parce que l'angle visuel devient plus petit: c'est la même illusion que celle qu'on éprouve à l'entrée d'une allée bordée d'arbres parallèles, qui semblent cependant se rapprocher à leur extrémité.. »

J'ajouterai, ma sœur, que ces rayons *crépusculaires*, qui se montrent surtout lorsque le ciel est chargé de vapeurs, sont regardés, à bon droit, comme une annonce de pluie.

Ainsi donc c'est bien réellement à notre at-

mosphère que nous devons les spectacles magnifiques appelés *lever* et *coucher du Soleil!* C'est bien à l'état très-variable de cette atmosphère que sont dus ces *changements à vue* qui diversifient les jouissances de l'artiste, du poëte et de l'observateur! La différence de densité entre les couches atmosphériques réfracte la lumière qu'elles réfléchissent en partie; les vapeurs aqueuses dispersent, à la manière du prisme, cette lumière réfléchie, et l'horizon s'anime des plus vives couleurs.

Je t'engage à lire dans l'ouvrage même la description scientifique du phénomène appelé *mirage*. Ce phénomène n'est pas autre chose que celui de la lumière réfractée à son passage d'un milieu rare dans un milieu dense. De même que l'observation de la lumière nous fait voir les étoiles dans le lieu où elles ne sont pas, c'est-à-dire *leur image*, de même le phénomène appelé *mirage* nous fait voir les objets terrestres, c'est-à-dire leur image, dans un lieu où ces objets ne sont pas; car, remarque bien ceci, il n'y a point de *mirage* s'il n'existe aucun objet *réel* à *mirer*. Lorsqu'en mer le mirage nous montre une flotte dans les airs, c'est qu'il y a *quelque part* une flotte que la rondeur de la plaine liquide nous cache en ce moment; lorsque sur la Terre ce mirage nous montre une ville, une armée, c'est qu'il y a *quelque part* une armée et une ville que la rondeur de la Terre et le grand éloi-

gnement ne nous permettent pas de découvrir.

Je ne m'arrêterai pas à la description des halos, des couronnes au sujet desquels la science ne peut faire que des conjectures, mais des conjectures fondées, comme tu vas le voir, et qui résultent de l'observation directe du phénomène appelé *anthélies*.

« Si le Soleil est près de l'horizon et que l'ombre de l'observateur tombe sur l'herbe, sur un champ de blé ou sur toute autre surface couverte de rosée, alors il voit son ombre entière entourée d'une auréole dont la lueur est vive, surtout dans le voisinage de la tête, mais qui va en diminuant à partir du centre. Cette lueur est due à la réflexion de la lumière par les gouttes de rosée. »

Les vésicules aqueuses dont se compose le brouillard produisent de même des anthélies.

« Suivant les observations de Scoresby, le phénomène se montre dans les régions polaires chaque fois qu'il y a simultanément du brouillard et du soleil. J'ai vérifié ce fait sur les Alpes, dit M. Kaemtz. Dès que mon ombre était projetée sur un nuage, la tête se montrait entourée d'une auréole lumineuse. Dans les mers polaires, quand une couche de brouillard peu épaisse repose sur la mer et s'élève à la hauteur de 90 ou 100 mètres, un observateur, placé sur le mât de misaine à 25 ou 30 mètres au-dessus de la mer, aperçoit un ou plusieurs cercles sur le brouil-

lard. Ces cercles sont concentriques, et leur centre commun se trouve sur une ligne droite qui va de l'œil de l'observateur au brouillard, du côté opposé à celui où se trouve le Soleil. Le nombre des cercles varie de 1 à 5; ils sont surtout nombreux et bien colorés quand le Soleil est très-brillant et le brouillard épais et bas. Le 23 juillet 1821, Scoresby vit quatre cercles concentriques autour de sa tête. Le premier était blanc ou jaune pâle, rouge et pourpre; le second bleu, vert, jaune, rouge et pourpre; le troisième vert, blanchâtre, jaunâtre, rouge et pourpre; le quatrième verdâtre, blanc et plus foncé sur les bords. Les couleurs du premier et du second étaient très-vives; celles du troisième, visibles seulement par intervalles, étaient très-faibles, et le quatrième n'offrait qu'une légère teinte verte. »

M. Ch. Martins fait observer, dans une note, que la cause de ces phénomènes n'est pas encore bien connue. On ignore si le nuage sur lequel ils se produisent (tu sais, ma sœur, que le brouillard est un nuage au sein duquel nous nous trouvons) est formé d'eau liquide ou de particules glacées.

Les découvertes nouvelles sur la polarisation de la lumière amèneront probablement la solution de bien des problèmes.

Tu dois *entrevoir* maintenant l'explication *possible* d'un autre phénomène bien admirable

entre tous ceux que présente l'atmosphère; je veux parler de l'arc-en-ciel; de cette brillante écharpe que les Grecs prêtaient à Iris, la messagère des dieux, et qui se déployait dans l'air, lorsqu'elle était chargée d'annoncer aux hommes que Jupiter tonnant faisait taire sa foudre et qu'Eole allait renfermer les vents déchaînés. Mais, comme *entrevoir* ne doit plus te suffire, je suis assuré que tu liras avec attention et avec plaisir tout ce chapitre des phénomènes optiques de l'atmosphère.

TRENTE-DEUXIÈME CAHIER.

MAGNÉTISME TERRESTRE. — L'AIGUILLE AIMANTÉE.

Tu as raison, ma chère Laure, la science humaine se trouve renfermée dans des limites bien étroites; elle est loin de pouvoir indiquer, avec la dernière certitude, les causes des phénomènes qui frappent nos regards; mais pourtant il est certains problèmes qu'elle est parvenue à résoudre avec une grandeur digne de l'objet même de ses recherches; tel entre autres et

avant tous les autres, celui de la pesanteur universelle.

La réflexion par laquelle tu termines ta dernière lettre m'aurait fait craindre, il y a quelque temps, que la paresse de l'esprit, beaucoup plus que le sentiment de notre impuissance, ne fût ta *muse inspiratrice;* aujourd'hui je ne peux croire qu'à ce sentiment d'impuissance, car tu me donnes la preuve, par certaines remarques, que tu étudies; pàr conséquent tu as compris que nous devons du moins, en reconnaissant l'impossibilité de *tout savoir*, ne pas rester étrangers aux travaux de cette science quelque limitée qu'elle puisse être.

Tu me pries de ne pas *oublier* les aurores boréales et les étoiles filantes !...

Je ne sais trop *à quel propos* t'en parler *maintenant* que nous nous occupons de météorologie, c'est-à-dire des phénomènes que présente l'atmosphère. Les aurores boréales, les étoiles filantes ne sont pas *évidemment* de *notre monde;* mais on ne sait pas *positivement* si elles appartiennent à la classe des phénomènes atmosphériques, ou si c'est seulement à *travers* l'atmosphère que nous les voyons. Je t'ai déjà fait remarquer, ma sœur, que les classifications, que les divisions et subdivisions établies par l'homme dans les sciences, ne sont point *arbitraires;* elles sont *rationnelles*, raisonnables, si tu l'aimes mieux, c'est-à-dire qu'elles sont le produit de la raison et du

raisonnement. Nous laisserons la question indécise, sans aucun doute; mais je te ferai observer qu'il est impossible de parler des aurores boréales avant d'avoir dit un mot du moins du magnétisme terrestre. Ce mot nous l'emprunterons au savant M. Marcet.

« On a donné le nom de *pierre d'aimant* ou d'*aimant naturel* à un minéral particulier (un oxyde de fer), dont la propriété caractéristique est d'attirer certains métaux, et spécialement le fer; ainsi, si l'on roule un aimant dans de la limaille de fer, on voit que la limaille reste attachée à la surface du minéral. La limaille n'adhère pas cependant également aux différentes portions de la surface de l'aimant; on remarque, au contraire, qu'il s'y trouve deux points où elle semble s'attacher de préférence. On a donné à ces deux points le nom de *pôles de l'aimant*. Ils ont la propriété, lorsque le minéral est suspendu librement, de se diriger spontanément l'un vers le pôle nord de la Terre, et l'autre vers le pôle sud. On appelle le premier: pôle sud ou pôle *austral;* le second, pôle nord ou *boréal* de l'aimant. »

Je t'entends dire d'ici : J'aurais cru que ce devait être tout le contraire! Attends, et tu *comprendras*.

« Non-seulement l'aimant attire le fer, mais il communique aussi à ce métal la propriété attractive et la polarité qu'il possède.

« La faculté de communiquer la vertu magné-

tique au fer et à l'acier, a donné naissance aux boussoles, dont on tire le plus grand secours en mer pour diriger la course d'un vaisseau au moyen de la direction de l'aiguille magnétique. Une boussole consiste simplement en une aiguille d'acier fortement aimantée et posée sur un pivot d'acier, de manière à pouvoir se mouvoir librement dans le plan horizontal. L'une des extrémités de l'aiguille se dirige constamment du côté du nord (c'est le pôle austral de l'aiguille), et l'autre, du côté du sud (c'est le pôle boréal de l'aiguille.) Tu vas voir *comment* et *pourquoi*.

« Un aimant attire ou repousse un autre aimant, selon que les pôles de *mêmes noms* ou de *noms différents* sont présentés l'un à l'autre; en d'autres termes, les extrémités de noms *différents* s'attirent. On prouve aisément ce fait en présentant à une aiguille aimantée, librement suspendue, un aimant ou barreau aimanté. Si l'on présente au *pôle nord* de l'aiguille le pôle nord de l'aimant, aussitôt l'aiguille sera déviée de sa position naturelle, le pôle nord étant repoussé par le pôle correspondant de l'aimant. On verrait, au contraire, que l'un des deux pôles de l'aiguille serait attiré si on lui présentait le pôle non correspondant d'une autre aiguille ou d'un barreau aimanté. »

Par conséquent, ma sœur, le pôle de l'aiguille qui se tourne dans la direction du pôle nord de

la Terre est nécessairement le *pôle sud* de l'aiguille, puisque les pôles de *noms différents* s'attirent; et, par la même raison, le *pôle nord* de l'aiguille indique nécessairement le *pôle sud* de la Terre. Comprends-tu cette fois?

« Si l'on porte une aiguille aimantée sur différents points du globe successivement, on en rencontrera un petit nombre où la direction sera celle du méridien du lieu, et coïncidera positivement avec les pôles du monde. Le plus souvent, cependant, elle ne se dirigera pas exactement vers le nord, mais s'écartera du méridien du lieu en se déviant tantôt vers l'est, tantôt vers l'ouest. On a désigné cette déviation, ou l'angle que forme la direction de l'aiguille avec le méridien, sous le nom de *déclinaison magnétique*, ou déclinaison de l'aiguille aimantée.

« L'inclinaison magnétique varie beaucoup dans les différentes régions du globe, et cela, sans aucune loi connue, si ce n'est qu'elle est nulle à l'équateur, et qu'elle va toujours en augmentant à mesure qu'on approche des pôles. Elle a varié aussi selon les époques et dans les différentes saisons de l'année.

« Les navigateurs trouvent de très-grands inconvénients dans cette inclinaison de l'aiguille de la boussole, surtout lorsqu'ils approchent des pôles. En effet, l'inclinaison, en empêchant l'aiguille de demeurer horizontale, lui ôte une partie de sa mobilité. Pour remédier à cet inconvé-

nient, les marins ajoutent souvent un petit poids, quelques gouttes de cire, par exemple, à l'extrémité de l'aiguille opposée à celle qui s'incline, de manière à la maintenir dans un état d'équilibre.

« On a cherché à se rendre compte de l'influence exercée par le globe terrestre sur la direction de l'aiguille aimantée, en supposant que le globe lui-même possède des propriétés magnétiques analogues à celles des aimants. Dans cette supposition, le globe terrestre serait un gros aimant ayant un de ses pôles placés à l'une des extrémités de l'axe terrestre, et le pôle contraire à l'autre extrémité. Les effets de la déclinaison et de l'inclinaison magnétique ne seraient plus, dans ce cas, que des effets semblables à ceux qui sont dus à l'action mutuelle des aimants. »

Voilà, ma chère Laure, tout ce qu'il est possible de te dire, pour le moment, sur ce que M. Arago lui-même appelle un *mystérieux* problême.

Les variations de l'aiguille aimantée indiquent la présence de quelques-uns des phénomènes atmosphériques ou non; car la question, pour quelques-uns, n'est pas complétement décidée, tu le sais. « De nombreuses observations, faites à Paris, ont prouvé que toutes les aurores boréales, voire même celles qui ne s'élèvent pas au-dessus de notre horizon, et dont nous ne

connaissons l'existence que par les relations des observateurs situés dans les régions polaires, altèrent fortement la déclinaison de l'aiguille aimantée, l'inclinaison et l'intensité. Qui oserait donc arguer du grand éloignement des aurores australes, pour affirmer qu'aucune d'elles ne peut porter le trouble dans notre hémisphère? (M. Arago.) »

Les habitants des îles Schetlands donnent, à l'aurore boréale, le nom de *danse joyeuse*. On serait tenté, en effet, d'après ce que rapportent les voyageurs, de voir, dans les mouvements rapides de ce brillant météore, quelque chose qui rappelle à l'imagination la vivacité, la rapidité des feux follets, mais sur une échelle tout à fait grandiose. « Dans la région du nord, au milieu des glaces et des longues nuits, pendant lesquelles règne une complète obscurité, vers la fin du crépuscule, tout à fait à l'horizon, apparaît un nuage d'un brun foncé, dont les bords décrivent un arc de cercle fermé par l'horizon. Bientôt ce nuage s'agrandit, puis se déchire, et alors s'échappent de son sein mille bandes d'une vive lumière, mille colonnes étincelantes; Protées d'un nouveau genre, variant leurs formes à l'infini et se colorant successivement de toutes les teintes, depuis le jaune jusqu'au rouge le plus prononcé. S'emparant de tout l'hémisphère, l'aurore boréale darde ses traits dans tous les sens avec la rapidité de l'éclair; elle déplace, avec une faci-

lité surprenante, son centre d'action, réunit ses traits en faisceaux, en forme une couronne au zénith, présente un aspect radieux et brillant, ou bien, prenant les couleurs les plus prononcées, elle jette un éclat terrible. C'est une colonne de sang qui sépare le firmament dans toute son étendue. Présage de quelque malheur public!

« Les anciens, qui donnaient à ce phénomène le nom de *torches ardentes*, y voyaient aussi de sinistres augures. Depuis Plutarque jusqu'au siècle dernier, l'aurore boréale fut toujours regardée avec terreur et comme l'annonce des calamités les plus terribles. En 1715 et 1716, elle parut avec éclat, même à la latitude de la France, elle qui, d'ordinaire, ne se montre qu'aux habitants des régions polaires, et en 1831, on a pu voir à Paris une légère teinte rose qui colorait l'horizon vers le nord. »

Gmélin, dans son Voyage en Sibérie, s'exprime ainsi que tu vas le voir, ma sœur, au sujet de l'aurore boréale : « Quelque beau que soit ce spectacle, je crois qu'il serait difficile de le contempler, au moins pour la première fois, sans frayeur, tant il est, à ce que beaucoup de personnes instruites assurent, accompagné de bruits, de sifflements et de pétillements pareils à ceux que produiraient les plus grands feux d'artifices. Les chasseurs, qui vont sur les confins de la mer Glaciale chasser le renard bleu, sont fréquemment surpris par ce météore. Leurs chiens s'en

montrent effrayés, au point de s'arrêter obstinément, et même de se coucher à terre jusqu'à ce que le bruit soit passé. »

Tu vois, ma chère Laurette, qu'il y a aurore boréale et aurore boréale, amateur et amateur, et que la seule conclusion à tirer sous le rapport historique de la *danse joyeuse* et des *colonnes de sang*, c'est que ce doit être un spectacle ou magnifique ou terrible. Passons à l'explication.

Te parlerai-je de l'opinion de Mairan, qui prétend que l'aurore boréale est produite par la chute d'une portion de l'atmosphère solaire dans notre atmosphère ? Ne ris pas, ma sœur, de cette théorie, puisqu'elle *explique*, dit-on, *très-ingénieusement* plusieurs circonstances du phénomène. Veux-tu maintenant connaître celle de l'abbé Hell ? Il ne voit, dans l'aurore boréale, qu'un effet de la lumière solaire ou lunaire réfléchie par la vapeur congelée, si abondante dans les régions polaires. Franklin est le seul qui se soit approché de la vérité, *peut-être*, en émettant l'idée que la source de ce phénomène est dans l'électricité accumulée en abondance vers l'un et l'autre pôle.... Comme tu ne sais rien au sujet de l'électricité, je m'arrête ici, et je t'engage à regarder avec moi l'aiguille aimantée.

« Plusieurs heures avant l'apparition d'une aurore boréale et pendant toute sa durée, l'aiguille aimantée éprouve des agitations subites,

et irrégulières auxquelles on a donné le nom d'*affolement*; et ces mouvements sont si caractéristiques, qu'à leur vue on peut prédire quelques heures à l'avance une aurore boréale et deviner son existence d'un lieu où elle n'est pas cependant visible; c'est ce qui est arrivé un grand nombre de fois à M. Arago. »

Je m'arrête de nouveau, ma sœur, non parce que tu ne sais rien en fait d'électricité, mais parce que les physiciens ne sont pas d'accord sur les idées théoriques admises jusqu'à ce jour, et tu n'aimes que les choses *reconnues* et *prouvées* avec la dernière évidence; ils ne le sont pas davantage *sur la hauteur* à laquelle l'aurore boréale s'élève dans l'atmosphère. Nous attendrons donc humblement, comme il convient à des ignorants, que de nouvelles découvertes, dues à de nouvelles observations, aient confirmé ou détruit la théorie de Franklin, en faveur de laquelle on peut faire valoir cependant les affolements de l'aiguille aimantée.

Mais, j'y pense, tu pourrais confondre l'aiguille aimantée avec l'aiguille de la boussole, puisque je ne t'ai pas expliqué ce que c'est que ce petit instrument si sensible aux perturbations de l'atmosphère.

Figure-toi une aiguille, ou petite barre d'acier, suspendue par son centre au moyen d'un fil de soie et de telle façon, qu'ainsi librement suspendue, elle se maintienne dans une position horizon-

tale. Cette position étant trouvée, on aimante l'aiguille, puis on la suspend de nouveau, et, à l'instant, une de ses extrémités paraît plus pesante que l'autre, puisque cette extrémité s'incline. C'est le pôle nord de l'aiguille qui, dans notre hémisphère, s'abaisse au-dessous de l'horizon; c'est au contraire le pôle sud qui, dans l'hémisphère méridional, s'abaisse vers la terre. Voilà ce qu'on appelle l'*inclinaison* de l'aiguille aimantée. La sensibilité de ce petit instrument est telle, qu'il annonce à l'instant le plus léger changement apporté dans l'action et dans la direction du magnétisme terrestre par les perturbations de l'atmosphère. Pendant l'aurore boréale, non-seulement l'aiguille aimantée s'incline, mais elle saute irrégulièrement dans le sens horizontal, et c'est là ce qu'on appelle son *affolement*.

TRENTE-TROISIÈME CAHIER.

RÉSUMÉ.

Non, ma sœur, je n'ai pas *oublié* de te parler des étoiles filantes ; mais je pensais que tu aurais ouvert, *à propos* de la foudre, l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, pour 1836 ; puisque tu n'en as rien fait, je vais te rapporter les paroles de M. Arago, et tu prendras une juste idée de ces prétendus météores.

« Depuis qu'on s'est avisé d'observer quelques

étoiles filantes avec exactitude, on a pu voir combien ces phénomènes si longtemps dédaignés, combien ces prétendus météores atmosphériques, ces soi-disant traînées de gaz hydrogène enflammé méritent d'attention. Leur parallaxe les a déjà placées beaucoup plus haut que, dans les théories adoptées, les limites sensibles de notre atmosphère ne semblaient devoir le comporter (*à environ* 200 *lieues de poste*, et notre atmosphère ne s'élève guère qu'à la hauteur de 15 à 16 lieues, fais-y attention, ma sœur). En cherchant la direction apparente suivant laquelle les étoiles filantes se meuvent *le plus ordinairement,* on a reconnu, par une autre voie, que si elles s'enflamment dans notre atmosphère, elles n'y prennent pas du moins naissance et qu'elles viennent du dehors. Cette direction, la *plus habituelle* des étoiles filantes, *semble diamétralement opposée au mouvement de translation de la Terre dans son orbite.* »

« On n'entrevoit guère aujourd'hui la possibilité d'expliquer l'étonnante apparition de bolides, observée en Amérique, dans la nuit du 12 au 13 novembre 1833, si ce n'est en supposant qu'outre les grandes planètes, il circule autour du Soleil des milliards de petits corps qui ne deviennent visibles qu'au moment où ils pénètrent dans notre atmosphère et s'y enflamment; que es astéroïdes (pour nous servir de l'expression qu'Herschel appliqua jadis à Cérès, Pallas, Ju-

non et Vesta) se meuvent en quelque sorte par groupes; qu'il en existe d'isolés, et que l'observation assidue des étoiles fixes sera, à tout jamais, le seul moyen de nous éclairer sur ce curieux phénomène. »

Il ne serait pas impossible, ma sœur, de trouver dans l'espace de la *matière planétaire*, comme Herschel y a trouvé de la *matière céleste* ou *stellaire*. Qu'en dis-tu?

« Nous venons de faire mention de l'apparition d'étoiles filantes, observées en Amérique en 1833. Ces météores se succédaient à de si courts intervalles, qu'on n'aurait pas pu les compter. De simples évaluations modérées portaient leur nombre à des centaines de mille. »

M. Arago ajoute en note ceci : « Les étoiles étaient si nombreuses, elles se montraient dans tant de régions à la fois, qu'en essayant de les compter, on ne pouvait guère espérer d'arriver qu'à de grossières approximations. L'observateur de Boston les assimilait, au moment du *maximum*, à la moitié du nombre de flocons qu'on aperçoit dans l'air pendant une averse ordinaire de neige. Lorsque ce phénomène se fut considérablement affaibli, il compta 650 étoiles en 15 minutes, quoiqu'il circonscrivît ses remarques à une zone qui n'était pas le dixième de l'horizon visible. Ce nombre, suivant lui, n'était que les deux tiers du total. Ainsi, il aurait dû trouver 866, et, pour tout l'hémisphère visi-

ble, 8,660. Ce dernier chiffre donnerait 34,640 étoiles par heure. Or, le phénomène dura plus de sept heures; donc, le nombre de celles qui se montrèrent à Boston, dépasse 240,000; car, on ne doit pas l'oublier, les bases de ce calcul furent recueillies à une époque où le phénomène était notablement dans son déclin. »

Te figures-tu, ma Laurette, cette pluie de feu? mais lis attentivement ce qui suit :

« On les aperçut le long de la côte orientale de l'Amérique, depuis le golfe du Mexique jusqu'à Halifax ; depuis neuf heures du soir, jusqu'au lever du Soleil, et même, dans quelques endroits, en plein jour, à huit heures du matin. *Tous ces météores partaient d'un même point du ciel*, situé près de γ du Lion, et cela, quelle que fût d'ailleurs, par l'effet du mouvement diurne de la Terre, la position de cette étoile. Voilà assurément un résultat fort étrange. Eh bien! citons-en un second qui ne l'est pas moins :

« La pluie d'étoiles filantes eut lieu, nous l'avons dit, dans la nuit du 12 au 13 novembre.

« En 1799, une pluie semblable fut observée en Amérique, par M. de Humboldt ; au Groenland, par les frères Moraves ; en Allemagne, par diverses personnes.

« La date est la nuit du 11 au 12 novembre.

« L'Europe, l'Arabie, etc., en 1832, furent témoins du même phénomène, mais sur une moindre échelle.

« La date est encore du 12 au 13 novembre. »

Je n'aurai pas besoin, je pense, ma sœur, de t'engager à prendre l'Annuaire de 1836, et à lire toi-même d'autres détails que j'omets pour ne point favoriser ton *laisser-aller* en fait de recherches à faire. Je terminerai ces extraits par cet *extrait* d'une note pleine d'intérêt sur une pluie d'étoiles filantes qui eut lieu en 1831.

« Ainsi se confirme de plus en plus l'existence d'une zone composée de millions de petits corps dont les orbites rencontrent le plan de l'écliptique *vers le point que la Terre va occuper tous les ans, du* 11 *au* 13 *novembre*. C'est un nouveau monde planétaire qui commence à se révéler à nous. »

Or, le monde planétaire est bien en dehors, tu le sais, ma sœur, de notre atmosphère; les étoiles filantes ne sont donc pas du domaine de la météorologie, domaine qui a pour limite les confins de l'atmosphère; elles appartiennent à l'astronomie, et, pour les suivre, il faut de nouveau nous élever dans l'espace; il faut de nouveau demander à l'observation et au calcul la connaissance exacte de ce monde d'astéroïdes si longtemps ignoré.

Jusqu'à présent, ma chère Laure, tu n'as pu même entrevoir ce que l'astronomie doit à l'analyse mathématique, méthode si belle et au moyen de laquelle l'homme remonte des conséquences aux principes, des effets aux causes. Il

faut pourtant que tu le saches; écoute donc de Laplace :

« Environ cinquante ans s'écoulèrent depuis la découverte de la pesanteur universelle, sans qu'on y ajoutât rien de remarquable : il fallut tout ce temps à cette grande vérité pour être généralement comprise et pour surmonter les obstacles que lui opposaient le système des tourbillons et l'autorité des géomètrees contemporains de Newton, qui la combattaient peut-être par amour-propre, mais qui, cependant, en ont hâté le progrès par leurs travaux sur l'analyse infinitésimale. Ensuite, leurs sucesseurs eurent l'heureuse idée d'appliquer cette analyse aux mouvements célestes : ils sont ainsi parvenus à expliquer, par la loi de la pesanteur, tous les phénomènes du système du monde, et à donner aux théories et aux tables astronomiques une précision inespérée. Il n'y a pas encore trois siècles que Copernic introduisit le premier dans ces tables, le mouvement de la Terre et des planètes autour du Soleil; Kepler y fit entrer les lois du mouvement elliptique, qui dépendent de la seule attraction solaire; maintenant, elles renferment les nombreuses inégalités qui naissent de l'attraction mutuelle de tous les corps du système planétaire; tout empirisme en est banni, et elles n'empruntent, de l'observation, que les données indispensables.

« C'est précisément dans ces applications de

l'analyse que se manifeste la puissance de ce merveilleux instrument sans lequel il eût été impossible de pénétrer un mécanisme aussi compliqué dans ses effets qu'il est simple dans sa cause. Le géomètre embrasse à présent, dans ses formules, l'ensemble du système solaire et de ses variations successives ; il remonte par la pensée aux divers états que ce système a subis dans les temps les plus reculés, et redescend à tous ceux que les temps à venir dévoileront aux observateurs. Il voit les grands changements, dont l'entier développement exige des millions d'années, se renouveler en peu de siècles dans le système des satellites de Jupiter, par la promptitude de leurs révolutions, et y produire les singuliers phénomènes entrevus par les astronomes, mais trop compliqués et trop lents pour qu'ils en aient pu déterminer les lois. La théorie de la pesanteur, devenue, par tant d'applications, un moyen de découverte aussi certain que l'observation elle-même, lui a fait connaître un grand nombre d'inégalités nouvelles dont les plus remarquables sont les inégalités de Jupiter et de Saturne, et les équations séculaires des mouvements de la Lune, par rapport à ses nœuds, à son périgée et au Soleil.

« Par ce moyen, le géomètre a su tirer, comme d'une mine féconde, les éléments les plus importants de l'astronomie qui, sans l'analyse, y resteraient éternellement cachés. Il a dé-

terminé les valeurs respectives des masses du Soleil, des planètes et des satellites, par le développement de leurs irrégularités périodiques et séculaires : la vitesse de la lumière et l'ellipticité de Jupiter lui ont été données par les éclipses de ses satellites, avec plus de précision que par l'observation directe; de là, il a conclu la rotation d'Uranus, de Saturne et de son anneau, et, l'aplatissement de ces deux planètes, de la position respective des orbes de leurs satellites; les parallaxes du Soleil et de la Terre et l'ellipticité même du sphéroïde céleste se sont manifestées dans les inégalités lunaires; car on a vu précédemment que la Lune, par son mouvement, décèle à l'astronomie perfectionnée l'aplatissement de la Terre dont elle fit connaître la rondeur aux premiers astronomes, par ses éclipses. Enfin, par une combinaison heureuse de l'analyse avec les observations, la Lune, qui semble avoir été donnée à la Terre pour l'éclairer pendant les nuits, est encore devenue le guide le plus assuré du navigateur qu'elle garantit des dangers auxquels il fut exposé longtemps par les erreurs de son estime. La perfection de la théorie lunaire à laquelle il doit ce précieux avantage et celui de fixer avec exactitude la position des lieux où il atterre, est le fruit des travaux des géomètres depuis un demi-siècle; et, pendant ce court intervalle, la géographie, accrue par l'usage des tables lunaires et des montres

marines, a fait plus de progrès que dans tous les siècles précédents. Ces théories sublimes réunissent ainsi tout ce qui peut donner du prix aux découvertes, la grandeur et l'utilité de l'objet, la fécondité des résultats et le mérite de la difficulté vaincue.

« Il a fallu, pour y parvenir, perfectionner à la fois la mécanique, l'optique et l'analyse qui sont principalement redevables de leurs accroissements rapides aux besoins de la physique céleste. On pourra la rendre encore plus exacte et plus simple; mais la postérité verra sans doute avec reconnaissance que les géomètres modernes ne lui auront transmis aucun phénomène astronomique dont ils n'aient déterminé les lois et la cause. On doit à la France la justice de faire observer que si l'Angleterre a eu l'avantage de donner naissance à la découverte de la pesanteur universelle, c'est principalement aux géomètres français et aux encouragements de l'Académie des sciences que sont dus les nombreux développements de cette découverte et la révolution qu'elle a produite dans l'astronomie. »

Je pense, ma sœur, que maintenant tu admires la géométrie, que tu admires aussi le géomètre; j'espère encore que tu ne m'adresseras plus avec malice ces vers trop célèbres :

Entends-tu murmurer ce sauvage algébriste
A la démarche lente, au teint pâle, à l'œil triste,
Qui, d'un calcul aride à peine encore instruit,
Sait que quatre est à deux ce que quatre est à huit.

Je te dirai, en passant, que si les vers sont *bons*, la proposition est mauvaise, et qu'elle appartient évidemment à l'algébriste *encore à peine instruit*. J'ajouterai que le calcul peut être aride en lui-même; mais il ne l'est pas, tu dois le reconnaître, dans les résultats grandioses qu'il produit, et ici encore il faut admirer l'intelligence humaine dans l'usage qu'elle a su faire des caractères appelés chiffres.

« C'est de l'Inde que nous vient l'ingénieuse méthode d'exprimer tous les nombres avec dix caractères, en leur donnant à la fois une valeur absolue et une valeur de position : idée fine et importante, qui nous paraît maintenant si simple que nous en sentons à peine le mérite. Mais cette simplicité même et l'extrême facilité qui en résulte pour tous les calculs, placent notre système d'arithmétique au premier rang des inventions utiles, et l'on appréciera la difficulté d'y parvenir, si l'on considère qu'il a échappé au génie d'Archimède et d'Apollonius, deux des plus grands hommes dont l'antiquité s'honore (Laplace). »

C'est encore à l'immortel de Laplace, à cet homme de génie dont le nom passera de siècle en siècle jusqu'à la postérité la plus reculée, que nous allons demander, ma sœur, le résumé des points principaux sur lesquels j'ai cherché à fixer ton attention. Je n'emprunterai au chapitre intitulé : *Considérations sur le système*

du monde et sur les progrès futurs de l'astronomie, que ce que tu es en état de comprendre. Plus tard, je l'espère, tu voudras recourir à l'ouvrage lui-même, et alors, seulement alors, tu prendras une juste idée du magnifique ensemble appelé *univers*.

« Le globe immense du Soleil, foyer principal du système solaire, tourne en vingt-cinq jours et demi sur lui-même; sa surface est couverte d'un océan de matière lumineuse dont les vives effervescences forment des taches variables, souvent très-nombreuses et quelquefois plus larges que la Terre. Au-dessus de cet océan s'élève une vaste atmosphère : c'est au delà que les planètes, avec leurs satellites, se meuvent dans des orbes presque circulaires et inclinés à l'équateur solaire. D'innombrables comètes, après s'être approchées du Soleil, s'en éloignent à des distances qui prouvent que son empire s'étend beaucoup plus loin que les limites connues du système planétaire.

« Non-seulement cet astre agit par son action sur tous les autres globes, en les forçant à se mouvoir autour de lui, mais il répand sur eux sa lumière et sa chaleur. Son action bienfaisante fait éclore les animaux et les plantes qui couvrent la Terre, et l'analogie nous porte à croire qu'elle produit de semblables effets sur les planètes; car il n'est pas naturel de penser que la matière, dont nous voyons la fécondité se

développer de tant de façons, est stérile sur une aussi grosse planète que Jupiter qui, comme le globe terrestre, a ses jours, ses nuits, ses années, et sur laquelle les observations indiquent des changements qui font supposer des forces très-actives. L'homme, fait pour la température dont il jouit sur la Terre, ne pourrait pas, selon toute apparence, vivre sur les autres planètes ; mais ne doit-il pas y avoir une infinité d'organisations relatives aux diverses températures des globes de cet univers ? Si la seule différence des éléments et des climats met tant de variété dans les productions terrestres, combien plus doivent différer celles des différentes planètes et de leurs satellites ? L'imagination la plus active ne peut s'en former aucune idée ; mais leur existence est au moins fort vraisemblable.

« On est étonné de voir toutes les planètes se mouvoir autour du Soleil, d'occident en orient, et presque dans le même plan ; les satellites, en mouvement autour des planètes, dans le même sens et à peu près dans le même plan que les planètes, et enfin le Soleil, les planètes et les satellites dont on a observé le mouvement de rotation, tournant sur eux-mêmes dans le sens et à peu près dans le plan de leur mouvement de projection.

« Un phénomène si extraordinaire n'est point l'effet du *hasard ;* il indique une cause générale qui a déterminé tous ces mouvements.....

« Le système planétaire nous offre quarante-deux mouvements dont les plans sont inclinés à celui de l'équateur solaire, tout au plus d'un angle droit. Il y a plus de quatre mille milliards à parier contre un, que cette disposition n'est pas un effet du hasard ; ce qui forme une probabilité bien supérieure à celle des événements les plus certains de l'histoire sur lesquels nous ne nous permettons aucun doute. Nous devons donc croire, au moins avec la même confiance, qu'une cause primitive a dirigé les mouvements planétaires....

« Tous ces mouvements si réguliers n'ont point de causes mécaniques, puisque les comètes se meuvent dans toutes les parties du ciel et dans des orbes fort excentriques.....

« Cet admirable arrangement du Soleil, des planètes et des comètes, ne peut être que l'œuvre d'un Être intelligent tout puissant. Un destin aveugle ne pourrait jamais faire mouvoir ainsi les planètes, à quelques irrégularités près à peine remarquables, qui peuvent provenir de l'action mutuelle des planètes et des comètes, et qui, probablement, deviendront plus grandes par une longue suite de temps, jusqu'à ce qu'enfin ce système ait besoin d'être remis en ordre par son Auteur. » (Newton, citation de de Laplace.)

Ainsi, tu le vois, ma sœur, le vrai savoir, quoi qu'on en ait pu dire, développe encore dans le

cœur le sentiment d'une haute piété; ainsi, le vrai savoir ne laisse plus rien au destin aveugle; il renverse les autels élevés au dieu Hasard : le demi-savoir seul rend impie; seul, il substitue le doute et l'incertitude à la certitude et à la conviction qu'apportent à l'homme des vérités découvertes de siècles en siècles par les plus beaux génies, et aujourd'hui prouvées avec toute la précision mathématique!

Je terminerai ici ces cahiers. Mon but a été de te montrer *comment* il a été *possible* d'arriver à la connaissance de ces hautes vérités dont tu osais douter, que tu osais nier, avant même d'avoir lu ces livres qui te faisaient peur, parce que c'était un parti pris de regarder comme inabordable la science appelée astronomie.

J'aime à espérer que tu voudras puiser toi-même aux sources où, pour toi, j'ai puisé; j'aime à espérer que le travail, et un travail sérieux, remplacera cette espèce de nonchalance qui détourne trop souvent les femmes d'études qui ne sont point au-dessus de leur portée, et alors, ma sœur, tu répéteras avec conviction les paroles de l'illustre Laplace : « L'astronomie, par la dignité de son objet et la perfection de ses théories, est le plus beau monument de l'esprit humain et le titre le plus noble de son intelligence! »

Oui, ma sœur, l'homme en osant, avec son compas, mesurer les cieux; l'homme en osant

peser les corps célestes; l'homme en osant proclamer qu'une seule et unique loi régit leurs mouvements, en apparence si divers, a donné la preuve la plus éclatante qu'une étincelle divine l'anime, et que c'est surtout par la culture de son intelligence qu'il peut s'élever à la contemplation du Créateur!

FIN.

